



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

DISEÑO DE UN ESQUEMA OPERACIONAL DE TRANSPORTE PÚBLICO COLECTIVO PARA LA ZONA DE CIUDAD BOLÍVAR EN BOGOTÁ

Gustavo Andrés Vinueza Jurado

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería
Departamento Ingeniería Civil y Agrícola
Maestría en Ingeniería - Transporte
Bogotá D.C., Colombia

2017

DISEÑO DE UN ESQUEMA OPERACIONAL DE TRANSPORTE PÚBLICO COLECTIVO PARA LA ZONA DE CIUDAD BOLÍVAR EN BOGOTÁ

Gustavo Andrés Vinueza Jurado.

Trabajo final de maestría presentado como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ingeniería – Transporte

Director:

M.Eng. Ing. Luis Felipe Lota

Codirector:

Ph.D. Liliana Lucía Lyons Barrera

Línea de Investigación:

Planeación de Transporte

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería

Departamento Ingeniería Civil y Agrícola

Maestría en Ingeniería - Transporte

Bogotá D.C., Colombia

Mayo, 2017

A Dios por iluminarme.

*A mi esposa Leonor Carrillo, por regalarme de su tiempo
para realizar este documento.*

A mis padres, que siempre han estado ahí apoyándome.

Agradecimientos

Primero quiero agradecer al Ingeniero Luis Felipe Lota, por su esfuerzo y dedicación al dirigir este trabajo, quien con sus conocimientos, sus orientaciones, su manera de trabajar, su persistencia, su paciencia, resolviendo las inquietudes y aclarando las dudas, permitió que se culminará este trabajo; a la Ing. Liliana Lucía Lyons Barrera, quien como codirectora, realizó observaciones y aportes importantes para complementar este trabajo.

A la empresa operadora de la zona de Ciudad Bolívar, SUMA S.A.S. que aportó información relevante acerca del sistema integrado de Transporte de Bogotá y su operación en la zona.

A la empresa operadora Troncal SI99 S.A. que aporó información sobre el sistema troncal en la ciudad y Bogotá y la licencia del software Visum, para poder realizar las simulaciones del modelo de Transporte público de Bogotá.

A mi amigo y compañero de trabajo John Moreno, quién siempre tuvo la disposición para debatir sobre las diferentes dudas que se iban a lo largo del desarrollo de este trabajo.

Resumen

El presente trabajo de grado titulado **DISEÑO DE UN ESQUEMA OPERACIONAL PARA LA ZONA DE CIUDAD BOLIVAR** se realizó con el fin de aportar una alternativa de solución a los problemas que han tenido las empresas operadoras zonales del SITP de la ciudad de Bogotá, se trabajó puntualmente en la zona de Ciudad Bolívar, proponiendo un nuevo esquema de operación para las rutas zonales, buscando una mejor alternativa para la movilidad de esa zona.

Para el diseño del nuevo esquema, se utilizó como base, la información del SITP que está operando actualmente en la ciudad de Bogotá, construyendo un modelo completo de la ciudad, detallando la oferta y demanda de la zona de Estudio. Se realizó la comparación entre el nuevo esquema y el actual, analizando ambos esquemas, para obtener como resultado final las ventajas y desventajas de implementar un cambio en las rutas y operación actual de la zona de Ciudad Bolívar y la posibilidad de replicar el cambio en otras zonas de la Ciudad.

Palabras Claves: Movilidad, plan, transporte, urbano, Transmilenio, Integrado.

Abstract

The present graduation thesis titled "design of an operational scheme for ciudad bolivar" was made to generate alternative solutions to the problems that the zonal operating companies of the SITP (public transportation integrated system) have had in the city of Bogota, Colombia. Punctually, the work was made for the Ciudad Bolivar locality in order to propose a new operation scheme for the zonal routes seeking for a better alternative for the transportation in this area.

For the design of the new scheme, the SITP information that is currently operating in Bogota was used. Building up a complete city model, specifying the offer and the demand in the area of study. A comparison was made between the new and the actual scheme, analyzing both schemes to obtain

as a final result the advantages and disadvantages of implementing a change in the routes and current operation in the Ciudad Bolivar area and the possibility of replicating this change in other city areas.

Keywords: mobility, plan, transportation, urban, Transmilenio, integrated

Contenido

| | |
|---|----|
| Agradecimientos | 4 |
| Lista de figuras..... | 9 |
| Lista de tablas..... | 10 |
| Lista de gráficas..... | 10 |
| Resumen | 5 |
| Abreviaturas..... | 11 |
| Introducción..... | 12 |
| Propuesta Metodológica..... | 14 |
| 1. Marco conceptual..... | 16 |
| 2. Caracterización de la demanda | 19 |
| 2.1. Zona de Ciudad Bolívar..... | 20 |
| 2.3. Motorización de la zona..... | 27 |
| 2.4. Descripción viajes Ciudad Bolívar..... | 28 |
| 3. Esquema operacional actual..... | 33 |
| 3.1. Rutas esquema operacional Actual | 33 |
| 4. Propuesta esquema operacional..... | 44 |
| 4.1. Posibles esquemas operacionales..... | 44 |
| 4.2. Asignación transporte público sin limitación de rutas..... | 49 |
| 4.3. Propuesta nuevo esquema operacional..... | 52 |
| 4.3.1. Cabeceras zona Ciudad Bolívar..... | 52 |
| 4.3.2. Puntos de Integración..... | 54 |
| 4.3.3. Rutas colectoras..... | 55 |
| 4.3.4. Rutas urbanas..... | 59 |
| 4.3.5. Operación puntos de integración..... | 66 |
| 4.3.5.1. Zona de integración: Quintas del sur..... | 66 |
| 4.3.5.2. Zona de Integración: Lucero bajo..... | 68 |
| 4.3.5.3. Zona de Integración: Candelaria..... | 70 |

| | |
|--|-----|
| 4.3.6. Tarifa..... | 71 |
| 5. Parametrización asignación..... | 72 |
| 5.1. Asignación basada en intervalos de paso..... | 73 |
| 5.2. Matriz origen destino..... | 73 |
| 5.3. Parámetros procedimiento de asignación..... | 76 |
| 5.3.1. Costo y percepción del tiempo..... | 76 |
| 5.3.2. Parametrización tarifa..... | 79 |
| 5.3.3. Parametrización tiempos de recorrido..... | 82 |
| 5.3.4. Parametrización nivel de información al usuario y algoritmo de selección..... | 82 |
| 6. Pruebas..... | 84 |
| 7. Resultados asignación..... | 88 |
| 7.1. Revisión general asignación bogotá..... | 88 |
| 7.2. Resultado asignación Ciudad Bolívar..... | 91 |
| 7.3. Propuesta de implementación..... | 94 |
| 7.4. Resultados consolidados..... | 95 |
| Conclusiones..... | 96 |
| Recomendaciones..... | 99 |
| Referencias Bibliográficas..... | 100 |
| Bibliografía..... | 101 |
| A.Anexo: Construcción matriz OD transporte público 2016..... | 102 |
| B.Anexo: Variables para proyección..... | 102 |
| C.Anexo: Modelación esquema propuesto..... | 102 |
| D.Anexo: Resultados ejercicio de asignación..... | 102 |
| E.Anexo: Figura resultado asignaciónesquema actual..... | 102 |
| F.Anexo: Figura resultado asignación esquema propuesto..... | 106 |

Lista de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 2.1 Localización Zona Ciudad Bolívar | 19 |
| Figura 2.2. Barrios Localidad de Ciudad Bolívar..... | 22 |
| Figura 3.1 Rutas a zona Neutra | 35 |
| Figura 3.2 Rutas a Usaquén y Suba Oriental..... | 36 |
| Figura 3.3 Rutas a Suba Centro | 37 |
| Figura 3.4 Rutas a Calle 80, Engativá y Fontibón | 39 |
| Figura 3.5 Rutas a Kennedy y Usme | 40 |
| Figura 3.6 Rutas con origen y destino en Ciudad Bolívar | 41 |
| Figura 3.7 Rutas con origen y destino en Ciudad Bolívar | 43 |
| Figura 4.1. Ejemplo esquemas operacionales | 45 |
| Figura 4.2. Generación – Atracción hora pico Ciudad Bolívar | 50 |
| Figura 4.3. Asignación hora pico zona Ciudad Bolívar | 51 |
| Figura 4.4 Unificación cabeceras Zona Ciudad Bolívar | 53 |
| Figura 4.5 Punto de integración nuevo esquema operacional | 54 |
| Figura 4.6 Rutas Colectoras Candelaria | 56 |
| Figura 4.7 Rutas Colectoras Lucero Bajo y Quintas del Sur | 58 |
| Figura 4.8 Rutas Urbanas Candelaria | 61 |
| Figura 4.9 Rutas Urbanas Lucero Bajo y Quintas del Sur | 63 |
| Figura 4.10 Propuesta nuevo esquema operacional | 65 |
| Figura 4.11 Punto de integración: Quintas del Sur | 67 |
| Figura 4.12 Punto de integración: Lucero Bajo | 69 |
| Figura 4.13 Punto de integración: Candelaria | 70 |
| Figura 4.14. Ejemplo Tarifa actual | 71 |
| Figura 5.1 Pasajeros movilizados en Transporte Público en la ciudad de Bogotá..... | 74 |
| Figura 5.2. Medición distancia Paradero SITP a Plataforma Portal Tunal | 80 |
| Figura 6.1. Recorte ruta 795, para prueba | 85 |
| Figura 7.1. Resultado Asignación modelo Actual Bogotá | 89 |
| Figura 7.2. Acercamiento tramo más cargado de la Ciudad de Bogotá | 90 |

Lista de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 2.1. Población Ciudad Bolívar por estrato socioeconómico | 24 |
| Tabla 2.2. Proyecciones promedio de Edad CB | 24 |
| Tabla 2.3. Índice de motorización por hogar por Localidad Bogotá | 27 |
| Tabla 3.1. Rutas por vías principales | 42 |
| Tabla 4.1. Evaluación Esquemas..... | 46 |
| Tabla 4.2. Rutas colectoras nuevo esquema operacional | 59 |
| Tabla 4.3. Rutas Urbanas nuevo Esquema Operacional | 64 |
| Tabla 5.1. Regresiones Lineales | 75 |
| Tabla 5.2. Comparación datos proyectados con encuesta 2015 | 76 |
| Tabla 5.3. Estudio Percepción del Tiempo | 77 |
| Tabla 5.4. Factores de penalización del tiempo zona Ciudad Bolívar | 78 |
| Tabla 5.5. Costo del tiempo Bogotá..... | 77 |
| Tabla 5.6. Costo del tiempo zona Ciudad Bolívar | 79 |
| Tabla 5.7. Parametrización Tarifa | 79 |
| Tabla 5.8. Parametrización Tarifa Transferencias | 81 |
| Tabla 6.1. Datos prueba ruta Colectora | 86 |
| Tabla 6.2. Datos Intervalo promedio por sistema | 87 |
| Tabla 7.1 Comparación validaciones de los dos esquemas | 91 |
| Tabla 7.2. Viajes con origen zona Ciudad Bolívar, comparación dos esquemas | 92 |
| Tabla 7.3. Resultado Asignación Rutas Alimentadoras | 93 |
| Tabla 7.4. Resultados Consolidados | 95 |

Lista de gráficas

| | |
|--|----|
| Gráfica 2.1. Ocupación Principal Localidad Ciudad Bolívar | 25 |
| Gráfica 2.2. Agrupación ocupación principal localidad CB | 26 |
| Gráfica 2.3. Distribución Población con dos ocupaciones de trabajo o estudio | 26 |

| | |
|--|----|
| Gráfica 2.4. Partición modal viajes Ciudad Bolívar | 28 |
| Gráfica 2.5. Comparación partición modal Ciudad Bolívar – Bogotá | 29 |
| Gráfica 2.6. Comparación partición modal motorizados Ciudad Bolívar – Bogotá | 30 |
| Gráfica 2.7. Viajes totales zona Ciudad Bolívar | 31 |
| Gráfica 2.8. Viajes Transporte Público Ciudad Bolívar | 31 |

Abreviaturas

En el texto:

SITP: Sistema Integrado de Transporte Público

TM: Transmilenio

CONPES: Consejo Nacional de Política Económica y Social

DANE: Departamento Administrativo Nacional de Estadística

DNP: Departamento Nacional de Planeación

PM: Plan de Movilidad

CB: Ciudad Bolívar

TPC: Transporte Público Colectivo

OD: Origen – Destino

HP: Hora Pico

UPZ: Unidades de Planeamiento Zonal

ZAT: Zonas de Análisis de Transporte

IPK: Índice de Pasajeros por Kilometro

UDCA: Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales

SDP: Secretaría Distrital de Planeación.

Introducción.

En este trabajo se va a realizar el diseño de un esquema operativo para la zona de Ciudad Bolívar de Bogotá, basado en el diseño inicial del Sistema integrado de transporte Público. Se busca generar otra alternativa al modelo actual, el cual ha presentado varios inconvenientes tanto para los usuarios, como para las empresas operadoras y el ente gestor. La planificación del modelo se desarrolla con base al modelo de 4 etapas que Ortuzar y Willumsen exponen en su libro “Modelos de transporte”.

Como punto de partida se realizó la caracterización de la zona de Ciudad Bolívar, utilizando como información base la encuesta encargada por la Secretaría de movilidad a la firma consultora Steer Davies Gleave y al Centro nacional de consultoría en el año 2011, con lo cual se busca entender como es el comportamiento de los viajes en la zona, que será de ayuda para poder realizar la parametrización del software y analizar los resultados.

Se hará la revisión completa del sistema de transporte Zonal que opera actualmente en la zona de estudio del presente trabajo, ya que ese será uno de los puntos de partida, para la construcción del nuevo esquema, esto debido a que uno de los requerimientos es que la cobertura sea por lo menos la misma que se tiene actualmente en la ciudad.

Una vez se tenga el nuevo esquema diseñado, se realizará su valoración, en cuanto a operatividad, demanda, oferta, tasa de transferencia, tiempos de espera, IPK, y la comparación con el sistema actual, de donde se encontrarán las ventajas y desventajas de la propuesta, y la conclusión de viabilidad de su implementación y posible replica en otras zonas de la ciudad.

En términos generales, el presente trabajo persigue el logro de los siguientes objetivos:

Objetivo General:

Diseñar un esquema operacional para la zona de Ciudad Bolívar en Bogotá, basado en el diseño inicial del Sistema integrado de transporte Público, para tener una alternativa de solución diferente a la actual que podría ser más eficiente.

Objetivos Específicos:

- Construir la base inicial utilizando los indicadores del sistema actual y analizando el esquema operacional actual de la zona de Ciudad Bolívar.
- Proponer un esquema operacional diferente al actual para la zona de Ciudad Bolívar, teniendo como punto de comparación el diseño operacional actual de la zona de Ciudad Bolívar.
- Validar los resultados obtenidos mediante la prueba en una o dos rutas y compararlos con la evaluación realizada al diseño operacional actual de la zona de Ciudad Bolívar teniendo en cuenta los tiempos de recorrido de las rutas, los intervalos de paso e indicadores como por ejemplo el índice de pasajeros por kilómetro (IPK).
- Analizar los resultados obtenidos y generar conclusiones con respecto al esquema operacional propuesto y la posibilidad de implementar soluciones similares en otras zonas de la ciudad de Bogotá.

Propuesta Metodológica.

El presente documento consta de 7 capítulos, en los cuales se busca diseñar un esquema operacional para la zona de Ciudad Bolívar en Bogotá, basado en el diseño inicial del Sistema integrado de transporte Público, para tener una alternativa de solución diferente al servicio que se presta actualmente en la localidad, y hacer el análisis de la conveniencia de esa propuesta.

En primer lugar se presenta un marco conceptual, en el cual se explica de manera general el proceso de planificación de transporte público que se llevó a cabo en el presente trabajo para diseñar y evaluar el esquema que se va a proponer, con lo cual se busca familiarizar al lector con el trabajo realizado.

Una vez, se tiene la idea general del proceso, se va a realizar la identificación de la zona de estudio, lo cual es vital en un proceso de planificación de transporte, ya que muchos de los viajes que realizan las personas se explican por la zona donde residen, al igual que los medios de transporte que utilizan, esto servirá no sólo para la construcción de la matriz origen destino de la zona, sino también para sacar conclusiones basados en el estudio de la zona. Adicionalmente será importante realizar una descripción de los viajes que se realizan en Ciudad Bolívar, para poder determinar la franja horaria de estudio, ya que en el presente trabajo, no se va a realizar un ejercicio de asignación sobre todo un día, si no que se va a tomar el caso crítico (Donde se tiene la máxima demanda), que sería la hora pico para un día hábil.

Después de conocer la zona de estudio, se realizará la revisión del esquema operacional actual, basados en el diseño operacional original realizado para la zona de Ciudad Bolívar y la operación de las rutas actuales en la zona, esto será uno de los insumos iniciales para poder realizar la propuesta del nuevo esquema operacional, pues con el nuevo esquema se deberá garantizar, por lo menos el mismo cubrimiento que se tiene actualmente en la zona de Ciudad Bolívar.

Una vez se tienen claras esas dos condiciones, se realizará el diseño del esquema operacional, para lo cual se evaluaron cualitativamente dos posibles esquemas de operación para la zona, se realizó un ejercicio de asignación de transporte privado para validar las principales vías que tendrán que

cubrir las rutas y se presenta el nuevo esquema, teniendo en cuenta la cobertura del sistema actual. Adicionalmente se evalúan las condiciones operativas, como zonas de paraderos y tarifa que se deben cumplir, para poder realizar la implementación del nuevo esquema.

Para realizar la evaluación del nuevo esquema, se desarrolla el proceso completo de planificación, y se construye la matriz origen destino de transporte público utilizando la información de la encuesta realizada en el año 2011 por la firma consultora Steer Davies Gleave y el Centro nacional de Consultoría, e información actualizada de validaciones del SITP de Bogotá suministrada por la empresa que opera en la zona de Ciudad Bolívar SUMA S.A.S, esa matriz OD se utiliza para realizar el procedimiento de asignación. Para la parametrización del software especializado que se utilizó para realizar la asignación, se utilizaron los datos específicos que caracterizan la zona de Ciudad Bolívar, que es la zona de estudio el presente trabajo. Adicionalmente, para validar y complementar la parametrización, se analizaron los datos reales de una ruta que funcionaba como opera el sistema actual, pero se modificó, y sirvió como una prueba parcial del nuevo esquema.

Después, se presenta la revisión de los resultados, realizando la comparación entre el esquema actual y el esquema diseñado, en indicadores como el número de transferencias, las validaciones realizadas en cada uno de los sistemas de transporte y el IPK.

Por último, se establecen las conclusiones y recomendaciones obtenidas en el desarrollo del proceso.

1. Marco Conceptual

El primer insumo para el proceso de planificación es la encuesta de Origen – Destino. Ortuzar y Willumsen (2011) describen varios tipos de encuestas que se pueden realizar, y la importancia de las características de la encuesta, tales como el diseño y formato del cuestionario, la definición del marco muestral y el tamaño de la muestra. Existen varios tipos de encuesta, sin embargo, en cualquier tipo de encuesta sobre viajes origen – destino, es necesario corregir y ponderar de una u otra forma los datos obtenidos, Armoogum (1997) citado por Ortuzar y Willumsen (2011, p159), con el fin de obtener resultados fiables y representativos. Las etapas de corrección que puede tener una encuesta son: Corrección por tamaño del hogar y por características sociodemográficas y correcciones por información no reportada que aplica en aquellas encuestas que son de auto-llenado. Por último, los datos obtenidos en la encuesta, deben ser validados, primero con trabajo de campo, y segundo una comprobación de los rangos válidos para la mayor parte de las variables, revisando la consistencia de los datos, en todo este proceso, es muy importante la experiencia del equipo que realice las validaciones.

Para el desarrollo del presente trabajo se utilizó la encuesta encargada por la Secretaría de movilidad a la firma consultora Steer Davies Gleave y al Centro nacional de Consultoría en el año 2011, la cual tenía como objetivo la caracterización de la movilidad urbana de la población desde los 5 años de edad, además de la ciudad de Bogotá, la encuesta incluye los 17 municipios vecinos de su área de influencia.

De la encuesta se pueden armar los datos de cómo es la distribución horaria de los viajes en Bogotá, para los tres tipos de día, hábil, sábado y domingo, así como la partición modal de los viajes, de los cuáles se tomarán los viajes que se realizan en transporte público, que es donde se va a concentrar el presente trabajo. De la caracterización de la encuesta se va a obtener la matriz origen destino proyectada para el 2016, ajustando los datos con proyecciones, teniendo en cuenta datos como la población, la cantidad de personas que estudian y trabajan y los datos actuales de demanda de las rutas del SITP.

Existen modelos y algoritmos para el diseño y optimización de rutas en el transporte público, sin embargo, quiénes han estudiado este problema, Antonio Mauttone, Héctor Cancela y María Urquhart (2014), plantean que estos modelos suelen ser complejos, ya que normalmente no son lineales, no son convexos y tienen múltiples objetivos, lo que dificulta su formulación y su solución mediante algoritmos. Este es el caso del esquema que se va a plantear en este trabajo, con el cual se espera maximizar la calidad del servicio y maximizar el beneficio de las empresas operadoras.

Al revisar en la historia, las soluciones que se han planteado al problema de optimización y diseño de rutas de transporte público, se puede decir que ha habido avances importantes, en la década de los 70, aparecen las primeras herramientas de diseño óptimo de rutas, pero están basadas en ideas intuitivas, sin una función objetivo clara, en los 80 ya se incorporan otros conceptos como el factor de carga, las funciones objetivo, el cubrimiento de la demanda y transferencias de los buses Axhausen y Smith (1984) citado por Michael Patriksson y Martine Labbé, (2002, p176). Y es en la década de los 90 donde aparecen otros enfoques, con los que se busca analizar el espacio de soluciones posibles, y se desarrollan nuevos métodos, los cuáles se diferencian unos de otros, por su adaptabilidad, interactividad, eficiencia y flexibilidad. El avance en este tema ha continuado en el siglo XXI, y ya hay autores que han desarrollado algoritmos genéticos para dar solución al problema.

En este trabajo, el modelo de Gruttner, Pinninghoff, Tudela y Díaz (2002), en el que se propone un cálculo de utilidades de cada línea para cada par origen destino, será el punto de partida para la propuesta de diseño de rutas, la cual está basada en el actual diseño de rutas del Sistema Integrado de Transporte de Bogotá (SITP). En este modelo, se tiene en cuenta la función beneficio del operador, el ingreso del operador, el costo del operador y también las variables asociadas a la prestación del servicio, como los tiempos de acceso a la línea, de viaje y de espera. Esto será el punto de partida, sin embargo, para la realización del esquema operacional, se tendrán en cuenta los datos de ingresos de usuarios actuales en las rutas de la zona de Ciudad Bolívar del SITP, y el análisis de la encuesta de movilidad, adicionalmente se afinará el diseño, mediante simulaciones de varias asignaciones, buscando obtener el mejor resultado.

Para llegar a la asignación se seguirá el modelo de las 4 etapas que se describe en el libro de Ortuzar y Willumsen (2011). Después de la caracterización de la demanda, viene la generación de viajes, que toma como entrada la información socioeconómica a nivel de hogares o personas en cada zona y el objetivo es obtener los vectores de viajes generados y atraídos por cada zona,

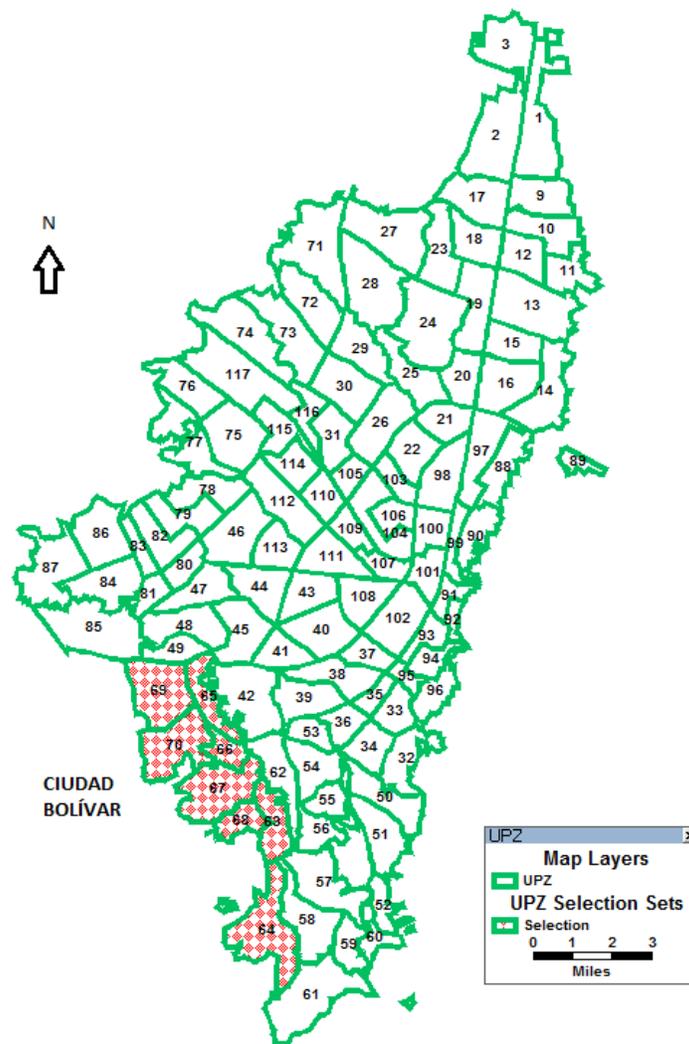
utilizando variables como la población, el empleo, ingreso, estudio y la tasa de motorización. Para obtener el resultado existen varios métodos como el de regresión lineal, el análisis de clasificación múltiple y regresión a nivel de hogares. La segunda etapa, es la distribución de viajes, en donde se toman los vectores de generación y atracción y los costos generalizados de viaje para obtener el total de viajes entre cada par de zonas, lo que sería una matriz origen destino del total de viajes, los métodos más utilizados en este proceso son los de factor de crecimiento y los sintéticos o gravitacionales. Después viene el modelo de reparto modal, que tiene como entradas la matriz O/D la información socioeconómica a nivel individual y los costos modales de viaje, de este modelo se obtiene el total de viajes por cada medio entre cada par de zonas.

Por último está el modelo de asignación de viajes, cómo en el presente trabajo se va a analizar el transporte público, las entradas serían la matriz O/D de transporte público y la red de transporte público, el resultado es el total de viajes de transporte público para cada ruta, entre cada par origen destino. El modelo de asignación, no es único, existen varios modelos. En el presente trabajo se utilizó el software Visum para realizar la asignación, se seleccionó este software entre tres opciones que se estudiaron (TransCad, EMME, Visum). Aunque en general, con los tres se pueden realizar las mismas simulaciones, se seleccionó Visum, porque permite de una manera sencilla cargar perfiles de tiempo en cada una de las rutas que se están modelando, con lo cual se facilita realizar una asignación tan compleja como la de la ciudad de Bogotá, sin necesidad de generar precargas en la red para el cálculo de las velocidades, lo cual simplifica un poco el problema, sin perder la calidad en el resultado de la asignación de transporte público.

2. Caracterización de la demanda

En este capítulo se va a realizar una revisión de la demanda de la zona de Ciudad Bolívar, se revisará la clasificación socioeconómica, los niveles de motorización, el nivel de estudio y ocupación que tienen las personas que viven en este sector, esto basado en la encuesta de movilidad del 2011.

Figura - 2.1 Localización zona Ciudad Bolívar



Fuente: Elaboración propia.

2.1. Zona de Ciudad Bolívar.

La zona SITP Ciudad Bolívar corresponde a un sector al sur de la ciudad, que colinda por el norte con la zona SITP neutra, al oriente con la zona SITP Usme, al occidente con la zona SITP Perdomo y al sur con el límite urbano de Bogotá.

Para la zona de Ciudad Bolívar se realizó el trabajo de la estimación de la demanda por ruta teniendo en cuenta el total de abordajes por zona, información que fue generada por Transmilenio, a partir de las matrices estimadas para los años 2011, 2013, 2015 y 2018. En general las matrices de viaje han sido formuladas a partir de una matriz base calibrada para el año 2008, (Transmilenio S.A., 2009), con base en observaciones de volúmenes de pasajeros en rutas de Transmilenio y del transporte colectivo. Las proyecciones se han formulado con base en un modelo de crecimiento de ciudad y región, que toma en cuenta tasas de crecimiento poblacional por zona de transporte, actividades económicas por zona y tasa de motorización entre otras variables, en el presente trabajo se utilizará la encuesta de movilidad del año 2011 realizada por Stear Davis & Glave y el centro nacional de consultoría para realizar dicha caracterización y con los datos de demanda actual de las rutas del SITP se realizarán los ajustes necesarios al modelo.

En la encuesta del 2011, se dividieron las localidades en zonas UPZ, por lo que el trabajo se desarrollará en este tipo de zonificación. Ciudad Bolívar está compuesta por 8 UPZ, de la número 63 a la 70 en la parte urbana y corregimientos en la zona rural, a continuación se describen las UPZ y los barrios que comprende cada una:

UPZ 63 El Mochuelo: Se ubica en la parte sur del área urbana de Ciudad Bolívar, tiene una extensión de 316.7 hectáreas, equivalentes al 9.3% del total del área de las UPZ de la localidad, es considerada una zona en desarrollo, ya que es poco poblado, y tiene grandes predios desocupados, en la encuesta no hay datos de esta UPZ, por lo que será necesario realizar una estimación de los datos teniendo como entrada los datos del DANE y la demanda que mueven las rutas del SITP que van hacia esa zona. Comprende los barrios de la Lira, El Pedregal, Villa Jacky, las Manas y Mochuelo oriental. (Secretaría distrital de planeación, 2011).

UPZ 64 Monte Blanco: También se localiza en la parte sur del área urbana de Ciudad Bolívar, está clasificada como una zona predominantemente dotacional, lo que quiere decir que tiene grandes

áreas destinadas a la producción de equipamientos urbanos y metropolitanos que, por su magnitud dentro de la estructura urbana, se deben manejar bajo condiciones especiales, lo anterior indica que también es una zona poco densa. Comprende los barrios de: El Mochuelo II, Brazuelos de Santo Domingo, Esmeralda, Lagunitas, Paticos y Barranquitos. (Secretaría distrital de planeación, 2011).

UPZ 65 Arborizadora: Se ubica en la parte nororiental de Ciudad Bolívar, es la única UPZ de esta localidad que se considera como residencial consolidada, lo que quiere decir que es un sector consolidado de estratos medios de uso predominantemente residencial, donde se presenta actualmente un cambio de usos y un aumento no planificado en la ocupación territorial. Comprende los barrios de Atlanta, Arborizadora Baja, la Playa, Madelena, Rafael Escamilla, Santa Helena, Santa Rosa sur, Villa Helena, El Chircal sur, La Coruña y las urbanizaciones Protecho, Casa Linda, La Coruña y Atlanta. (Secretaría distrital de planeación, 2011).

UPZ 66 San Francisco: Se ubica en el costado oriental de la zona urbana de la localidad, es una zona considerada residencial de urbanización incompleta, al igual que las otras tres UPZ que faltan por describir (67, 68, 69 y 70), estos son sectores periféricos no consolidados, en estratos 1 y 2, de uso residencial predominante con deficiencias en su infraestructura, accesibilidad, equipamientos y espacio público. Comprende los barrios de Las Acacias, Candelaria la Nueva, Gibraltar, Colmena, la Casona, Juan José Rondón, San Luis sur, San Fernando sur, Santa Inés de la Acacia, Millan Los Sauces, Puerta del llano, Sauces, Hortalizas y el Recuerdo. (Secretaría distrital de planeación, 2011).

UPZ 67 El Lucero: Se localiza en la zona centro oriental, tiene una extensión de 586.9 hectáreas, que equivalen al 17.3% del total de área de las UPZ. Comprende los barrios de Álvaro Bernal Segura, Lucero alto, Lucero medio, Lucero bajo, Domingo Laín, El Bosque, El Castillo, El Mirador, Estrella del sur, El Triunfo, Gibraltar sur, Juan Pablo II, La Alameda, La Cabaña, La Escala, Las Manitas, Los Alpes, El Satélite, La Torre, Los Andes de Nutibara, La Estrella de Lagos, Ciudad Milagros, Compartir, Buenavista, Marandú, Meissen, Brisas del Volador, México, Nueva Colombia, Naciones Unidas, Tierra Linda, Vista Hermosa, Villa Gloria y Capri. (Secretaría distrital de planeación, 2011).

UPZ 68 El Tesoro: se ubica en la parte sur del área urbana de Ciudad Bolívar, tiene una extensión de 210,9 hectáreas, equivalentes al 6,2% del total del área de las UPZ, comprende los barrios de Arabia, Acapulco, Buenos Aires, Bogotá Sur, Diviño Niño, Casa de Teja, El Consuelo, El Tesoro, Tesorito, El Mochuelo I, El Reflejo, La Cumbre, Los Duques, Inés Elvira, Monterey, Minuto de María, Ocho de Diciembre, Quiba, Potreritos, República de Venezuela, República de Canadá, San Rafael Sur, San Joaquín del Vaticano, Sotavento y Villa Diana López

Figura - 2.2. Barrios Localidad de Ciudad Bolívar.

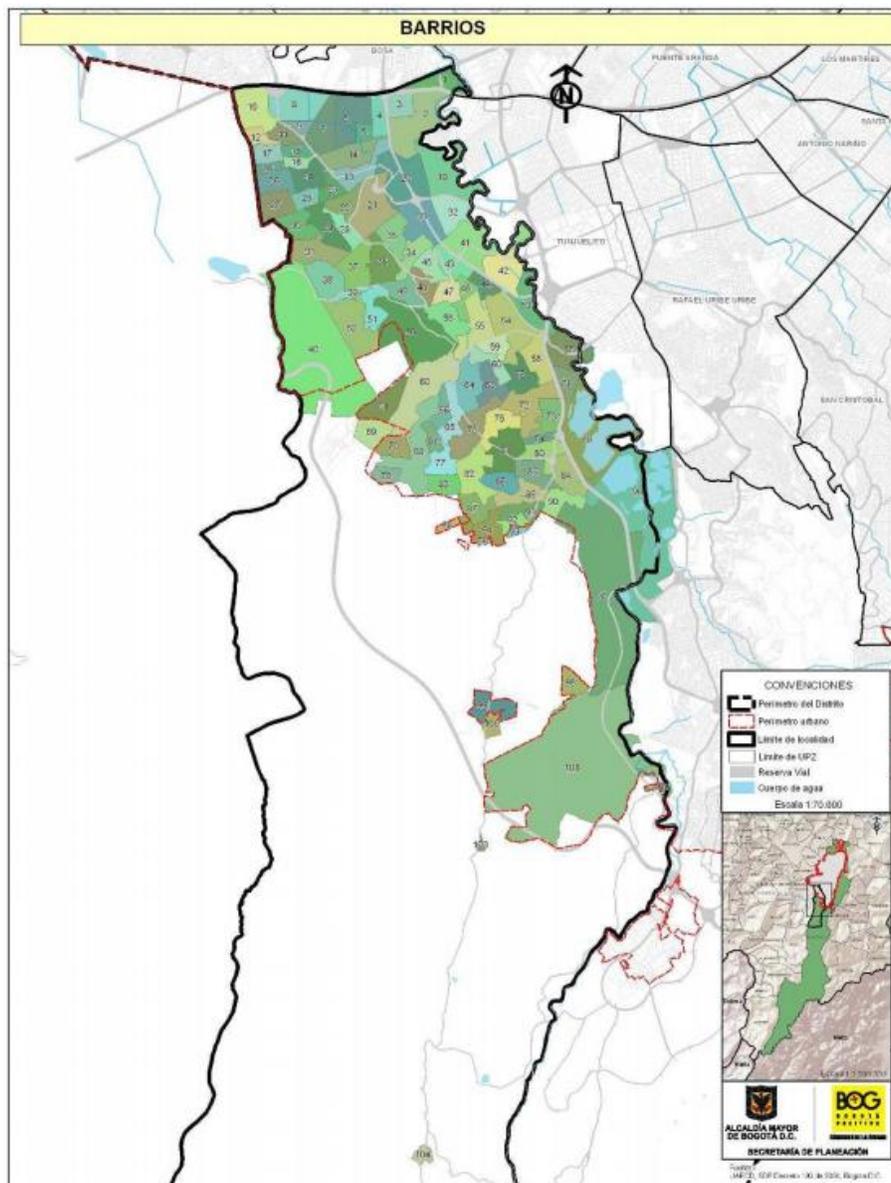


Figura 2.2. Diagnóstico de los aspectos físicos demográficos y socioeconómicos. 2009. Por Secretaria distrital de planeación.

UPZ 69 Ismael Perdomo: se localiza en el extremo noroccidental de Ciudad Bolívar. Tiene una extensión de 559,9 hectáreas, comprende los barrios Bella Estancia, Barlovento, Caracolí, Bonanza Sur, Casa Loma Casavianca, Cerro del Diamante, El Rosal, El Espino, Ismael Perdomo, El Porvenir, El Rincón del Porvenir, Galicia, La Carbonera, Mirador de la Estancia, Mirador de Primavera, Perdomo Alto, Rincón de Galicia, Rincón de la estancia, Rincón de la Valvanera, San Antonio del Mirador, San Isidro, María Cano, San Rafael de la Estancia, Santa Viviana, Santo Domingo y Sierra Morena. (Secretaría distrital de planeación, 2011).

UPZ 70 Jerusalén: se ubica en la parte occidental de Ciudad Bolívar, tiene una extensión de 537,5 hectáreas, equivalentes al 15,8% del total de área de las UPZ de esta localidad. Comprende los barrios Arborizadora Alta, Bella Vista, Florida del Sur, Jerusalén, La Pradera, Las Brisas, Potosí, Las Vegas de Potosí, Villas de Bolívar y Verona.

Corregimientos: La zona rural de Ciudad Bolívar tiene tres corregimientos (cada uno con sus veredas): Mochuelo (Mochuelo Alto y Mochuelo Bajo), Quiba (Quiba Alta y Quiba Baja) y Pasquilla (Pasquilla, Pasquillita, Santa Bárbara, Santa Rosa y Las Mercedes). (Secretaría distrital de planeación, 2011).

Con las UPZ, se hace una división más precisa de la localidad reuniendo barrios homogéneos en su interior y con límites que reflejan las divisiones geográficas naturales. Estas, además, solo tienen en cuenta el interior del perímetro urbano siendo muy útiles a la hora de modelar un sistema netamente urbano que no tiene la obligación de cubrir ciertas aéreas rurales de la ciudad.

2.2. Población Ciudad Bolívar.

En el presente trabajo se va a realizar el análisis de la movilidad de la zona de Ciudad Bolívar, basado en la encuesta realizada en el año 2011 y los datos de población que tiene el DANE. El ejercicio de caracterización se realizará con los datos del 2011, pero para realizar la matriz origen-destino, se proyectarán los datos a 2016 utilizando las proyecciones.

En la tabla 2.1, se observa la población de Ciudad Bolívar, por estrato socioeconómico y por UPZ. El 96.16% de la población es estrato inferior o igual a 2, lo que muestra que en general es una población con bajos recursos, lo que va a influir directamente en la selección modal de los habitantes

de la localidad. En las únicas UPZ donde hay estrato 3, son la de Arborizadora y la de Ismael Perdomo, pero más que todo en Arborizadora, que es la única UPZ de la localidad que es considerada como residencial unificada.

En la Tabla 2.2. Se muestra la proyección de la población desde el 2005 hasta el 2015, en tres grupos de edad, lo que se puede observar es que en general la población de Ciudad Bolívar tiende a envejecer, cada vez es menos el porcentaje de población que es menor a los 15 años.

Tabla 2.1. Población Ciudad Bolívar por estrato socioeconómico.

| UPZ | ESTRATOS | | | | | | | Total |
|----------------------|--------------|----------------|----------------|---------------|----------|---------------|----------|----------------|
| | Sin estrato* | 1. Bajo-Bajo | 2. Bajo | 3. Medio-Bajo | 4. Medio | 5. Medio-Alto | 6. Alto | |
| El Mochuelo | - | 1.609 | - | - | - | - | - | 1.609 |
| Monteblanco | 29 | 5.974 | - | - | - | - | - | 6.003 |
| Arborizadora | 138 | - | 42.475 | 19.237 | - | - | - | 61.850 |
| San Francisco | 25 | 9.596 | 67.193 | - | - | - | - | 76.814 |
| Lucero | 540 | 134.077 | 33.081 | - | - | - | - | 167.698 |
| El Tesoro | 203 | 45.539 | 3.606 | - | - | - | - | 49.348 |
| Ismael Perdomo | 3.356 | 82.231 | 81.225 | 5.329 | - | - | - | 172.141 |
| Jerusalén | 3.814 | 91.754 | 8.737 | - | - | - | - | 104.305 |
| UPR Ciudad Bolívar | - | 120 | 39 | 6 | 2 | - | 1 | 169 |
| Total general | 8.105 | 370.900 | 236.356 | 24.572 | 2 | 1 | 1 | 639.937 |

- Sin población por estrato en esa localidad.

Fuente: DANE - SDP. DICE: Proyecciones de población de Bogotá por localidades 2006-2015

Cálculos: Dirección de Estudios Macro y Dirección de Estratificación.

Decretos 544 de 2009 (zona urbana) y 304 de 2008 (zona rural).

Tabla 2.2. Proyecciones promedio de Edad CB.

| Grupos Edad | 2005 | 2011 | 2015 |
|-------------|------|------|------|
| 0-14 | 33,8 | 30,6 | 29,1 |
| 15-64 | 62,9 | 65,3 | 66,1 |
| 65 y Mas | 3,3 | 4,1 | 4,8 |

Nota. Recuperado de Censo 2015, DANE – SDP, Proyecciones de población según Localidad 2006-2015

En la Gráfica 2.1, se observa cual es la ocupación principal de la población en la localidad de Ciudad Bolívar, hay 9 categorías que están por encima del 2%, pero sólo 4 que superan el 4%. La mayor ocupación es la de “Estudiante en colegio o escuela” 26.33%, seguida por la de “Empleado de nómina” 18.31%, dedicado al hogar 16.86% y trabajador independiente con un 16.85%. Como se puede observar sólo el 2.1% de la población tiene como actividad principal el estudio de un pregrado en la universidad, y no se tiene registro de personas que estén estudiando un posgrado, esto quiere decir que los viajes generados hacia las universidades no van a ser una proporción importante, sin

embargo, a las escuelas si se presentará una alta cantidad de viajes, los cuales en su mayoría deben ser a escuelas en la misma localidad. También es importante mencionar que sólo el 3.67% tiene como actividad principal la búsqueda de empleo, que es un porcentaje más bajo que la tasa de desempleo en el país. También es alto el porcentaje de personas jubiladas 3.92%, lo que es congruente con el porcentaje de personas que tienen más de 65 años.

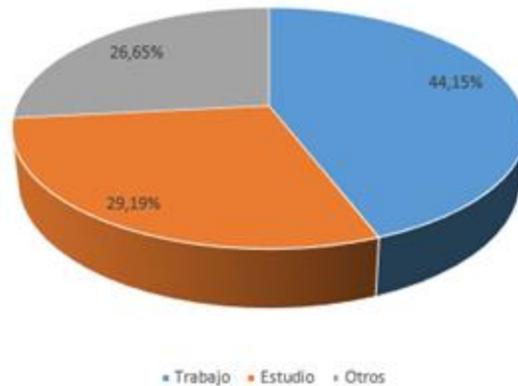
Gráfica 2.1. Ocupación principal localidad Ciudad Bolívar.



Fuente: Elaboración propia con datos de Encuesta de movilidad 2011.

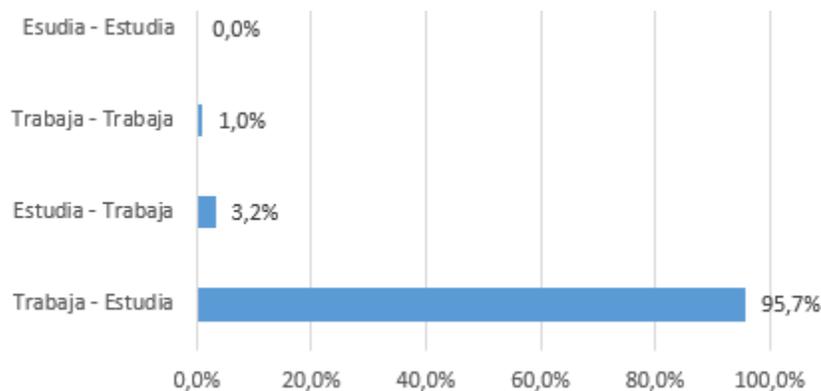
En la gráfica 2.2 se dividió la ocupación principal en tres grandes grupos (Estudio, trabajo, otros). Lo que se puede observar es que la mayor parte de la población en la localidad trabaja, y hay un porcentaje importante 26.65%, que se dedica a actividades diferentes como actividad principal, esta población debe tener un mayor número de viajes a zonas cercanas y en horas no pico, lo cual se debe ver reflejado cuando se haga el análisis de viajes de la localidad.

Gráfica 2.2. Agrupación ocupación principal localidad CB.



Fuente: Elaboración propia con datos de Encuesta de movilidad 2011.

Gráfica 2.3. Distribución población con dos ocupaciones de trabajo o estudio.



Fuente: Elaboración propia con datos de Encuesta de movilidad 2011.

También es importante revisar cuantas personas que estudian tienen como actividad secundaria trabajar y viceversa, y personas que tienen dos trabajos o dos estudios, este grupo muy seguramente tendrá que realizar por lo menos un viaje adicional hacia el lugar donde ejecuta su labor secundaria. Esta población corresponde tan sólo al 2.1%, del total de la población que estudia o trabaja como actividad principal. En la gráfica 2.3 se puede observar la participación según las dos actividades que realizan

Como se puede observar la inmensa mayoría tiene como actividad principal el trabajo y secundaria el estudio y no hay nadie que esté realizando dos estudios.

2.3. Motorización de la zona.

Antes de realizar la revisión de viajes en la localidad de Ciudad Bolívar, es importante mostrar cuales son los índices de motorización, que van a explicar de alguna manera la partición modal de la zona.

Tabla 2.3 Índice de Motorización por hogar por Localidad Bogotá

| LOCALIDAD | Motorizados x Hogar |
|-----------------------|---------------------|
| USAQUÉN | 0,97 |
| CHAPINERO | 0,99 |
| SANTAFÉ | 0,41 |
| SAN CRISTÓBAL | 0,37 |
| USME | 0,26 |
| TUNJUELITO | 0,36 |
| BOSA | 0,32 |
| KENNEDY | 0,48 |
| FONTIBÓN | 0,78 |
| ENGATIVÁ | 0,48 |
| SUBA | 0,79 |
| BARRIOS UNIDOS | 0,78 |
| TEUSAQUILLO | 0,88 |
| MÁRTIRES | 0,33 |
| ANTONIO NARIÑO | 0,58 |
| PUENTE ARANDA | 0,60 |
| CANDELARIA | 0,42 |
| RAFAEL URIBE | 0,31 |
| CIUDAD BOLÍVAR | 0,27 |

Fuente: Elaboración propia con datos de Encuesta de movilidad 2011.

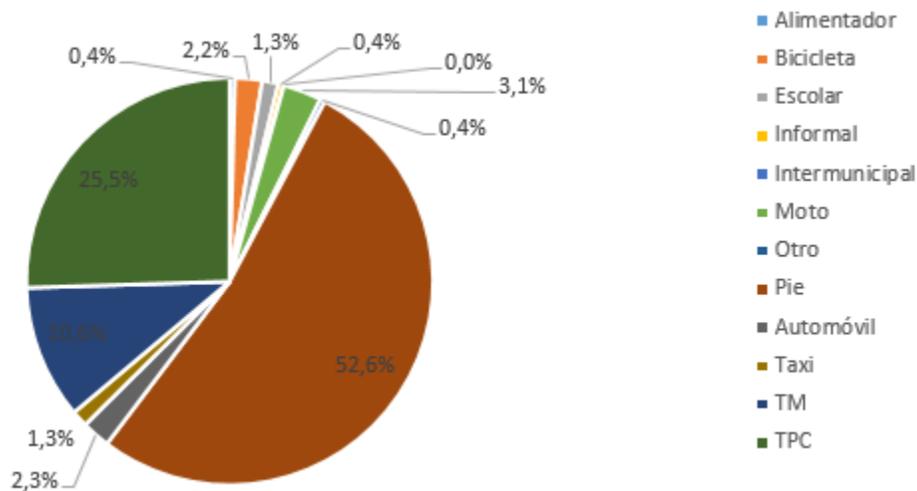
En la tabla 2.3 se muestra el índice de motorización por hogar en las localidades de Bogotá, como se puede observar Ciudad Bolívar y Usme, son las localidades con el menor índice, lo cual obedece a la estratificación de la zona, información que se mostró en el punto anterior. La mayoría de las localidades con menor índice, están ubicadas en el sur de la ciudad, lo que muestra la división socioeconómica que existe entre el norte y el sur de la ciudad.

Esto muestra que en Ciudad Bolívar debe haber una alta cantidad de viajes en otros medios de transporte, como Transmilenio, el transporte público tradicional, la moto y la bicicleta. Es muy probable que el uso de taxi tampoco sea muy alto, dado el nivel socioeconómico de la zona.

2.4. Descripción viajes Ciudad Bolívar.

Después de haber revisado las características de la zona, población y motorización de Ciudad Bolívar, ya se tiene una idea general de cómo puede ser el comportamiento de los viajes que realizan las personas de la localidad.

Gráfica 2.4. Partición modal viajes Ciudad Bolívar.

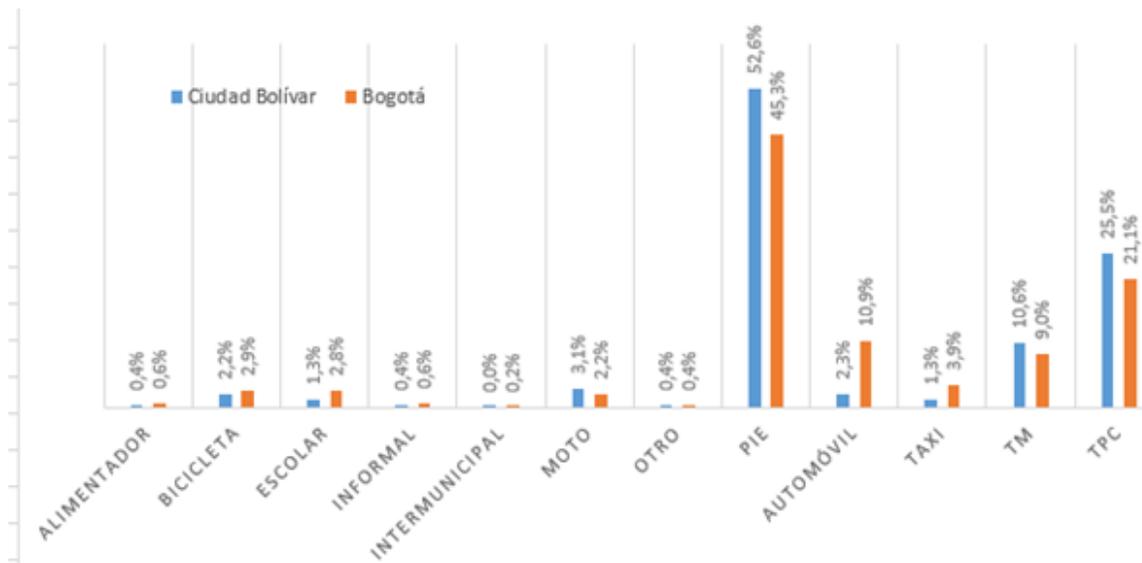


Fuente: Elaboración propia con datos de Encuesta de movilidad 2011.

En la gráfica 2.4 se muestra la partición modal del total de viajes que realiza la población que habita en la zona de Ciudad Bolívar, teniendo en cuenta el modo utilizado en el viaje principal. El mayor porcentaje de viajes se realizan a pie (52.6%), y en segundo lugar está el transporte público que llega al 36.5% (25.5% Transporte público colectivo, 10.6% Transmilenio, 0.4% Alimentador, son casi 0 los viajes intermunicipales). Es interesante que se tenga el 0.4% de viajes con modo principal el servicio alimentador, teniendo en cuenta que para usar estos buses no se realiza el pago, estos serían viajes que no generarían ingresos al sistema de Transmilenio.

Los viajes que se realizan en automóvil tienen un porcentaje de participación muy bajo (2.3%) que es menor que el de las motos (3.1%), y las bicicletas presentan una participación del 2.2%, todas estas son condiciones que están relacionadas con las características socioeconómicas de la zona.

Gráfica 2.5. Comparación participación modal Ciudad Bolívar – Bogotá.



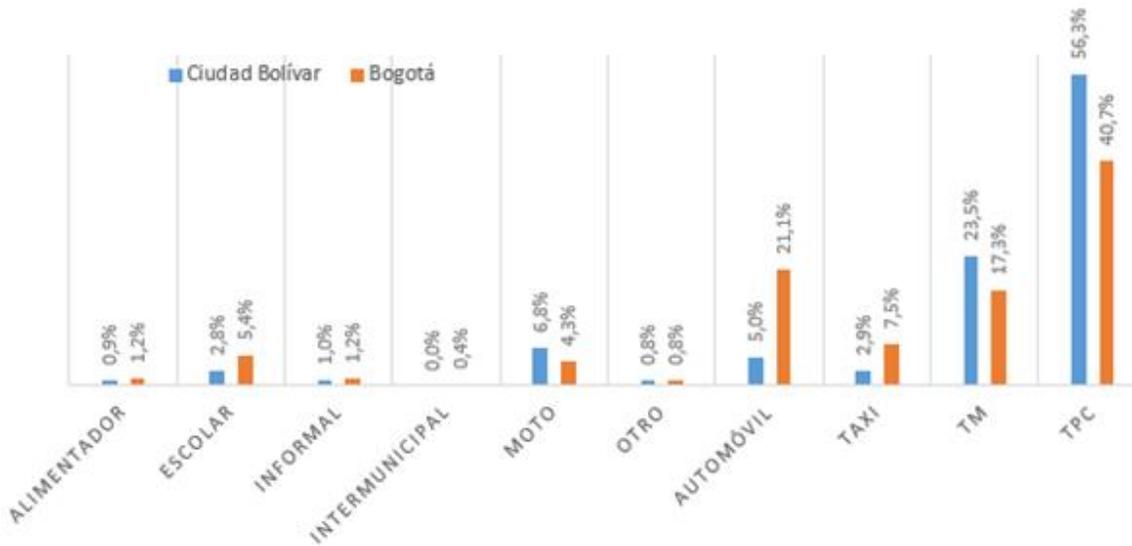
Fuente: Elaboración propia con datos de Encuesta de movilidad 2011.

Para aterrizar el ejercicio, es importante realizar una comparación de la zona con la Ciudad completa, en la gráfica 2.5 se muestra esa comparación, se puede observar que la participación del automóvil es casi 5 veces menor con respecto al comportamiento en la ciudad, algo similar pasa con el taxi que tiene una participación 3 veces menor, esto se compensa con el aumento en la participación de los viajes en Transmilenio, el transporte público colectivo y la moto. También hay un aumento importante del 7.3% de los viajes que se realizan a pie, es interesante la reducción que se presenta en los viajes en servicio escolar, esto puede significar dos cosas, primero que la población de Ciudad Bolívar estudia en colegios que se encuentran en la misma zona y lo más probable es que los desplazamientos se hagan a pie, o que la cantidad de personas que estudian en esta zona, es inferior al resto de la ciudad.

Es importante realizar este mismo ejercicio, pero para los modos motorizados. En la gráfica 2.6 se pueden observar los resultados. El transporte público colectivo es el que tiene el mayor porcentaje de participación con un 56.3%, y es 15.6 puntos porcentuales mayor que la participación de este modo para toda la ciudad; Teniendo en cuenta que el sistema integrado de transporte (SITP), ha venido reemplazando rutas del TPC, se puede decir que ese porcentaje se reparte hoy entre estos dos sistemas, teniendo en cuenta lo anterior, por temas de demanda, la zona de Ciudad Bolívar necesita un sistema de transporte eficiente para cubrir esa demanda. La operación troncal de

Transmilenio también tiene un porcentaje de participación mayor en la zona que en la ciudad completa. En total el transporte público en Ciudad Bolívar tienen una participación del 80.7% en los modos motorizados, mientras que para la ciudad de Bogotá la participación es tan sólo del 59.7%. Esto está directamente relacionado con la condición socioeconómica de la zona y el poder de adquisición.

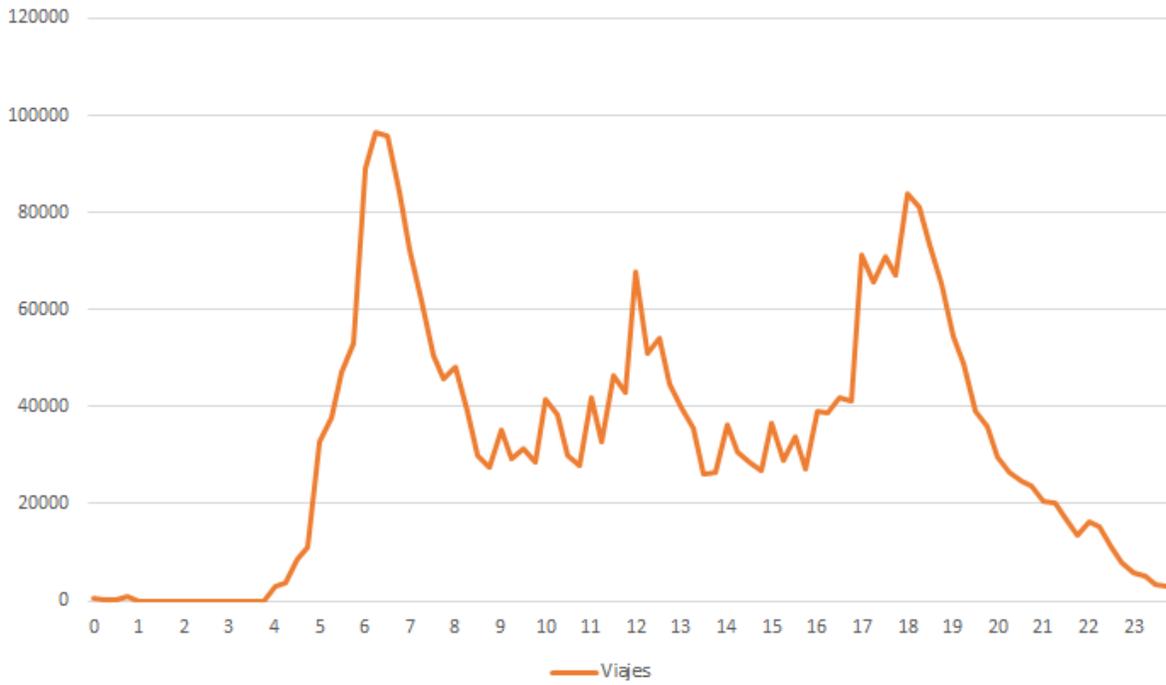
Gráfica 2.6. Comparación participación modal motorizados Ciudad Bolívar – Bogotá.



Fuente: Elaboración propia con datos de Encuesta de movilidad 2011.

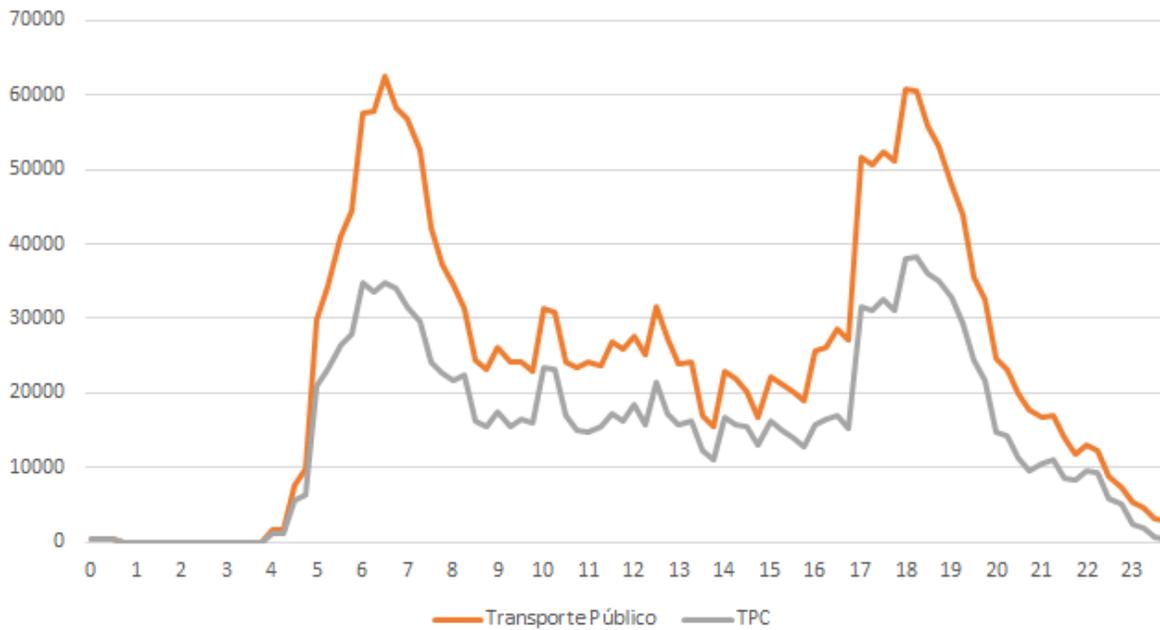
En la gráfica 2.7 se puede observar la distribución horaria del total de viajes en la zona de Ciudad Bolívar para un día hábil, el comportamiento es similar al de toda la ciudad, hay tres picos pronunciados, uno en la mañana (6:00 a 7:00), otro al medio día (12:00 a 13:00) y otro en la tarde (17:45 a 18:45). Para la zona de Ciudad Bolívar el pico de la mañana es un 19.6% más alto que el de la tarde, sin embargo es más angosto, lo que muestra que hay más gente transportándose en la mañana a una misma hora que en la tarde y como era de esperar, ambos picos son más altos que el del medio día.

Gráfica 2.7 Viajes Totales Ciudad Bolívar



Fuente: Elaboración propia con datos de Encuesta de movilidad 2011.

Gráfica 2.8 Viajes Transporte Público Ciudad Bolívar



Fuente: Elaboración propia con datos de Encuesta de movilidad 2011.

Es necesario revisar también la distribución horaria para los viajes del transporte público para día hábil, especialmente los del TPC, que es el sistema al cual reemplaza el SITP, en la gráfica 2.8 están las dos curvas. Como se puede observar, el comportamiento de las dos es muy similar y se nota la importancia del TPC en la zona de Ciudad Bolívar. En este caso desaparece el pico de la hora valle, lo cual quiere decir que hay un importante número de personas que a esa hora se transportan a pie o en bicicleta, de acuerdo a lo evidenciado en la gráfica 2.6. Adicionalmente se presentan más viajes en la hora valle de la mañana (09:00 a 13:00) que en la de la tarde (13:00 a 16:00), y el comportamiento de las horas pico de la mañana y de la tarde ya nos son tan distintos como para el total de los viajes, lo cual quiere decir que el sistema de transporte público de la zona debería tener una capacidad similar en la mañana y en la tarde, la hora pico de la mañana se mantiene de 06:00 a 07:00, sin embargo la de la tarde se corre 15 minutos. (18:00 a 19:00). Debido a que el pico de la mañana continúa siendo mayor al de la tarde (2.5%), será la hora referente para realizar la modelación.

3. Esquema operacional actual

En el capítulo anterior se realizó la revisión del comportamiento de la demanda de la zona de Ciudad Bolívar, lo cual sirve como un primer análisis para entender el comportamiento de los viajes de la zona y poder establecer un primer acercamiento a lo que podría ser un esquema operacional valido para atender dicha demanda, sin embargo también es importante realizar la revisión del esquema operacional actual, lo cual va a brindar una idea general de la cobertura mínima que debe tener el nuevo esquema que se proponga.

3.1. Rutas esquema operacional actual

En general los trazados de las rutas del SITP son similares a los que se tenían en el transporte público tradicional, se realizaron ajustes en algunas rutas que ya existían, otras que iban al centro de la ciudad se partieron en dos y se adicionaron otras pocas rutas para garantizar cubrimiento en zonas donde sólo operaba el transporte pirata. (Transmilenio S.A. 2009).

En ese sentido, el gran cambio que se dio con el SITP no fue el diseño de las rutas, sino el cambio en la estructura del negocio, la operación de las flotas y la forma de recaudo. Aunque en este trabajo se va a revisar el diseño operacional, estos otros aspectos afectan directamente la operación como se mostrará más adelante.

A Julio de 2016 en la zona de Ciudad Bolívar están operando 28 rutas del SITP de las 45 que estaban propuestas en el diseño operacional, algunas con unos cambios con respecto al diseño original. Debido a que la empresa operadora zonal no ha logrado ingresar el total de las rutas, en esta zona aún opera lo que denominó la alcaldía SITP Provisional, que son rutas operadas por el transporte colectivo tradicional, que se están controlado por medio del ente gestor "Transmilenio". Como en el presente trabajo se va a proponer un esquema operacional para toda la zona, se va a revisar el diseño operacional total de la zona, teniendo en cuenta las rutas del SITP que están

operando, con los trazados actualizados y lo que haría falta por incluir, con ello se busca que el nuevo esquema cumpla con los requerimientos de cobertura.

Las rutas del SITP se pueden dividir por su zona de destino, teniendo en este caso todas como origen la zona de Ciudad Bolívar, a continuación se muestra el detalle de las 48 rutas, teniendo en cuenta esa división:

Rutas con destino: Zona neutra.

Existen 5 rutas que van a lo que se denominó en el SITP como zona neutra, que está ubicada geográficamente en el centro de la ciudad y no está asignada directamente a ningún operador del SITP, por lo que son rutas que las opera al 100% el operador con la zona de origen de la ruta.

En el diseño operacional del SITP hay 5 rutas que salen de la zona de Ciudad Bolívar, como se puede observar en la figura 3.1, sólo dos tienen la misma cabecera (C13 y 143) en su origen y 2 la misma cabecera en su destino (143 y C7), las avenidas principales que están tomando a la salida de Ciudad Bolívar son avenida Boyacá (C7), Av. Carrera 68 (C13), carrera 50 (143), carrera 24 (796A) y carrera 10 y 7 (T12).

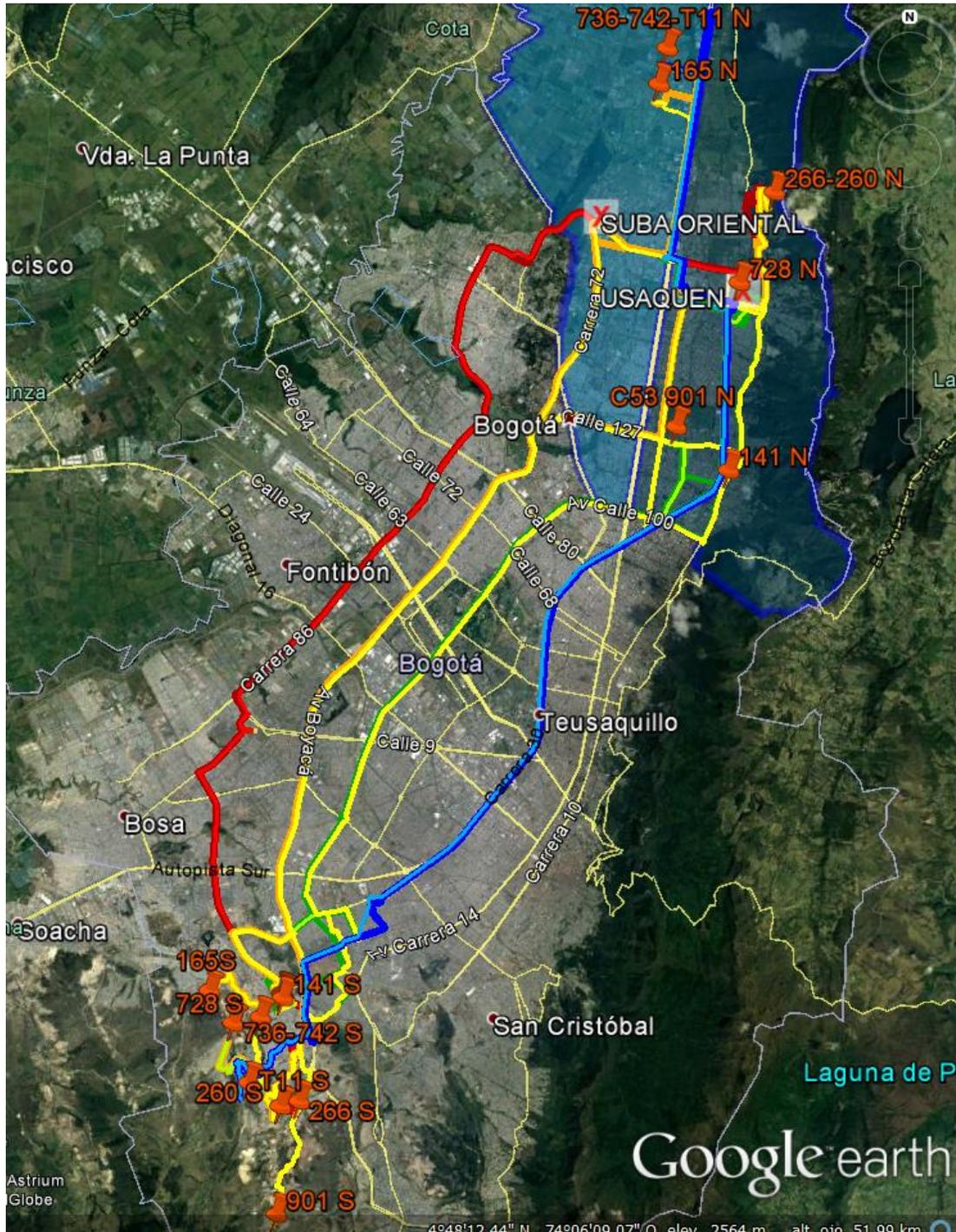
Rutas con destino: Usaquén y Suba oriental.

En la figura 3.2 se pueden observar las 6 rutas que van a Usaquén y las 4 que van a Suba oriental, de estas 10 rutas sólo dos comparten cabecera en la zona de Ciudad Bolívar (736 y 742). Las 10 rutas transitan por cuatro de los corredores principales de la ciudad de Bogotá, 4 por la avenida 68 (901, 728, C53 y 736), 4 por la avenida Boyacá (141, 260, 165 y 742), una por la carrera 30 (T11) y una por la avenida Ciudad de Cali (266).

Estas 10 rutas conectan la zona de Ciudad Bolívar con dos zonas que quedan al otro extremo de la ciudad en la zona Norte, y de acuerdo al diseño operacional deben ser compartidas entre los operadores de cada una de las zonas. Estas rutas se caracterizan por tener recorridos muy largos que pasan por el centro de la ciudad y por ende los tiempos de recorrido totales son muy altos, al final de este capítulo se mostrará una tabla resumen con estos datos para cada una de las rutas.

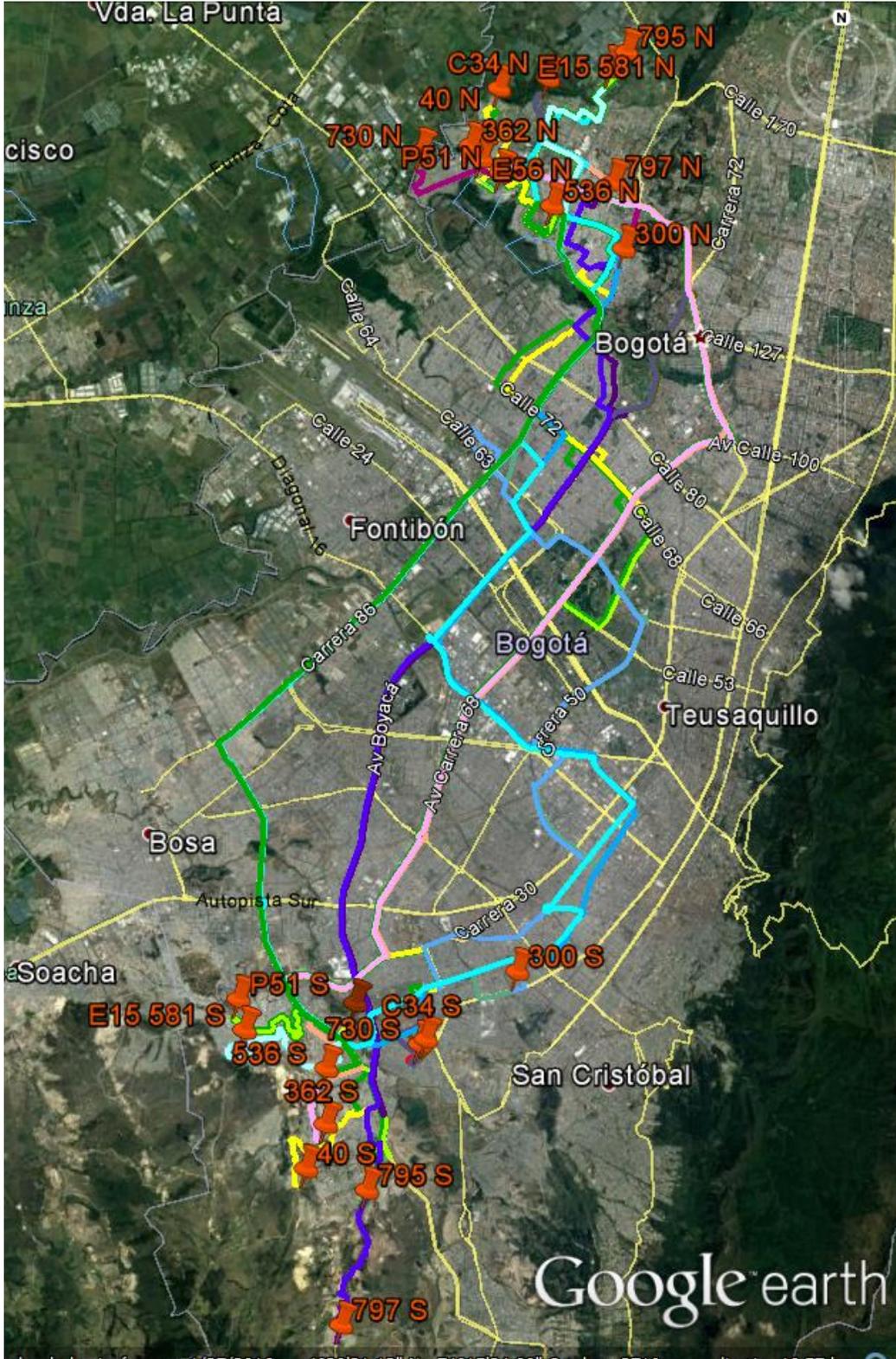
P51 y la 795. Y el resto o no están operando, o son operadas por el SITP provisional, que no está integrado con el resto del sistema.

Figura 3.2 Rutas a Usaquén y Suba Oriental.



Fuente: Elaboración propia. Datos tomados del diseño Operacional SITP.

Figura 3.3 Rutas a Suba Centro



Fuente: Elaboración propia. Datos tomados del diseño Operacional SITP.

De estas 12 rutas, sólo dos tienen la misma cabecera en la zona de Ciudad Bolívar, la E15 y la 581, 10 de estas rutas tiene sus recorridos sobre las avenidas principales que conectan el sur con el norte de la ciudad, 4 rutas van por la avenida 68 (E56, 362, 795 y P51), 4 por la avenida Boyacá (C34, 797, 730 y 40) y 2 por la avenida Ciudad de Cali (581 y 536). Las otras dos rutas también pasan por alguna de estas avenidas principales, sin embargo no las atraviesan de Sur a Norte, sino que conectan a la ciudad de oriente a occidente y en tramos más pequeños utilizan estas avenidas, la ruta E15 que sale por la carrera 24 al oriente de la ciudad y toma la calle 13 para conectar con la avenida Boyacá y más adelante conectar con la avenida Ciudad de Cali, y la ruta 300 que también sale por la carrera 24, más adelante conecta con la carrera 50 por medio de la calle 6 y baja por la calle 63 hasta conectar con la avenida Ciudad de Cali.

Rutas con destino: Calle 80, Engativá y Fontibón.

En la figura 3.4 se pueden observar la 9 rutas que salen de Ciudad Bolívar y tienen como destino la zona de Calle 80 (Rutas C8 y 41), Engativá (Rutas 126 y SE14) o Fontibón (Rutas P46, P41, 361, 921 y P39), estas rutas se caracterizan por ser un poco más cortas que las rutas que van a Suba o Usaquén, sin embargo también atraviesan gran parte de las avenidas principales de Bogotá, 2 pasan por la avenida 68 (41 y P46), 2 por la avenida Ciudad de Cali (P41 y 921), 2 por la carrera 30 (SE14 y 361), una por la carrera 7 (126) y una por la avenida Boyacá (P39). Una de las 9 rutas, la C8 que va a la zona de la calle 80, no atraviesa por ninguna de las avenidas principales de la ciudad, esta ruta sale del sur de la ciudad hacia el Oriente para luego bajar al Occidente de la ciudad utilizando avenidas secundarias.

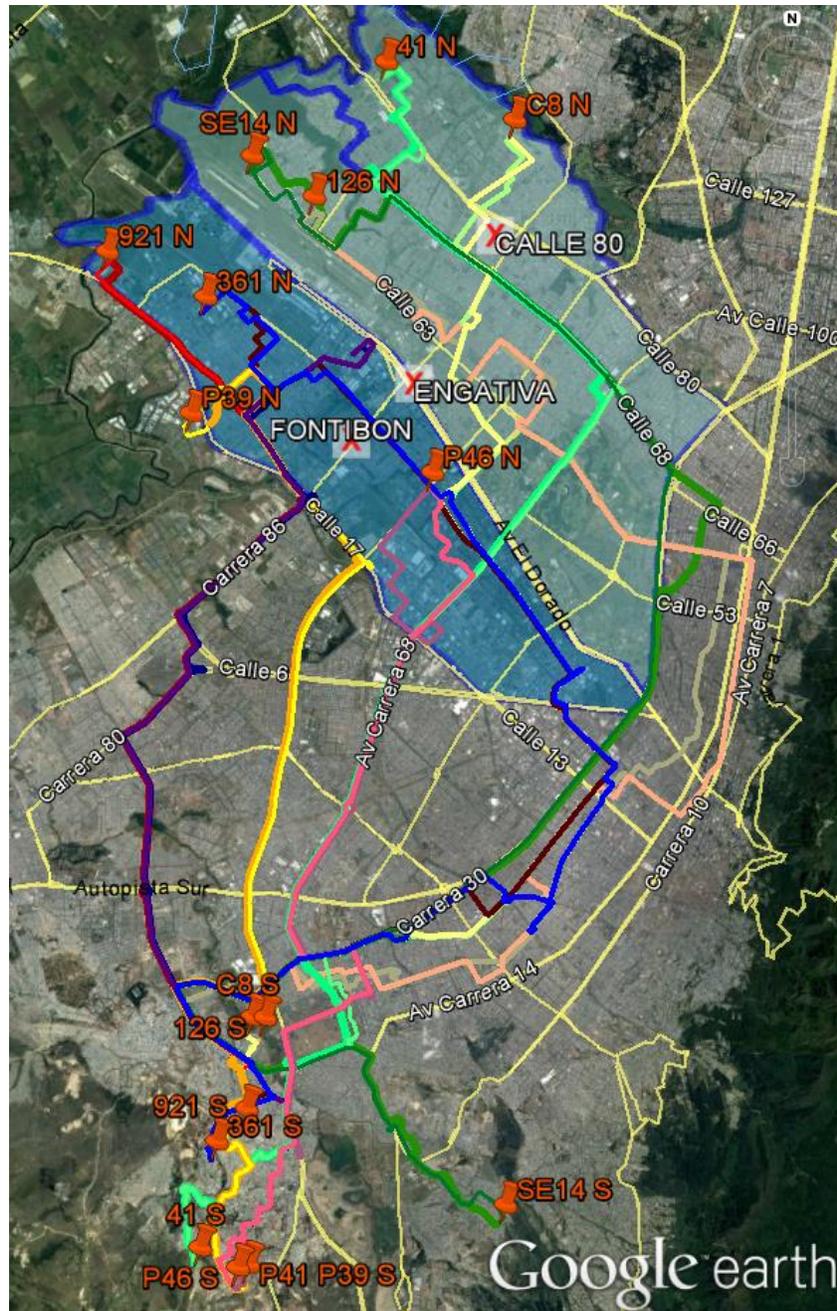
Rutas con destino: Kennedy y Usme.

Hay 7 rutas que conectan a Ciudad Bolívar con la zona de Kennedy y una ruta que conecta con la zona de Usme, estas rutas son en promedio aún más cortas que las del grupo anterior. Estas rutas sólo toman pequeños tramos de las avenidas principales de la ciudad de Bogotá que se han venido analizando, ya que están conectando zonas que geográficamente son más cercanas. De las rutas que van a Kennedy, 2 pasan por la avenida Villavicencio, la ruta 16 que conecta al portal de Usme con el portal de Américas y atraviesa toda la avenida, y la ruta P44 que toma un tramo de la avenida e ingresa por el sector de Bosa. Hay 3 rutas que pasan por la avenida Boyacá (923, P47 y C201), pero sólo la ruta C201 la utiliza como conector principal, una de las rutas pasa por la avenida 68

(733) y una de las rutas no pasa por ninguna de estas avenidas principales, sino que baja por la calle 3, y luego toma la calle 13.

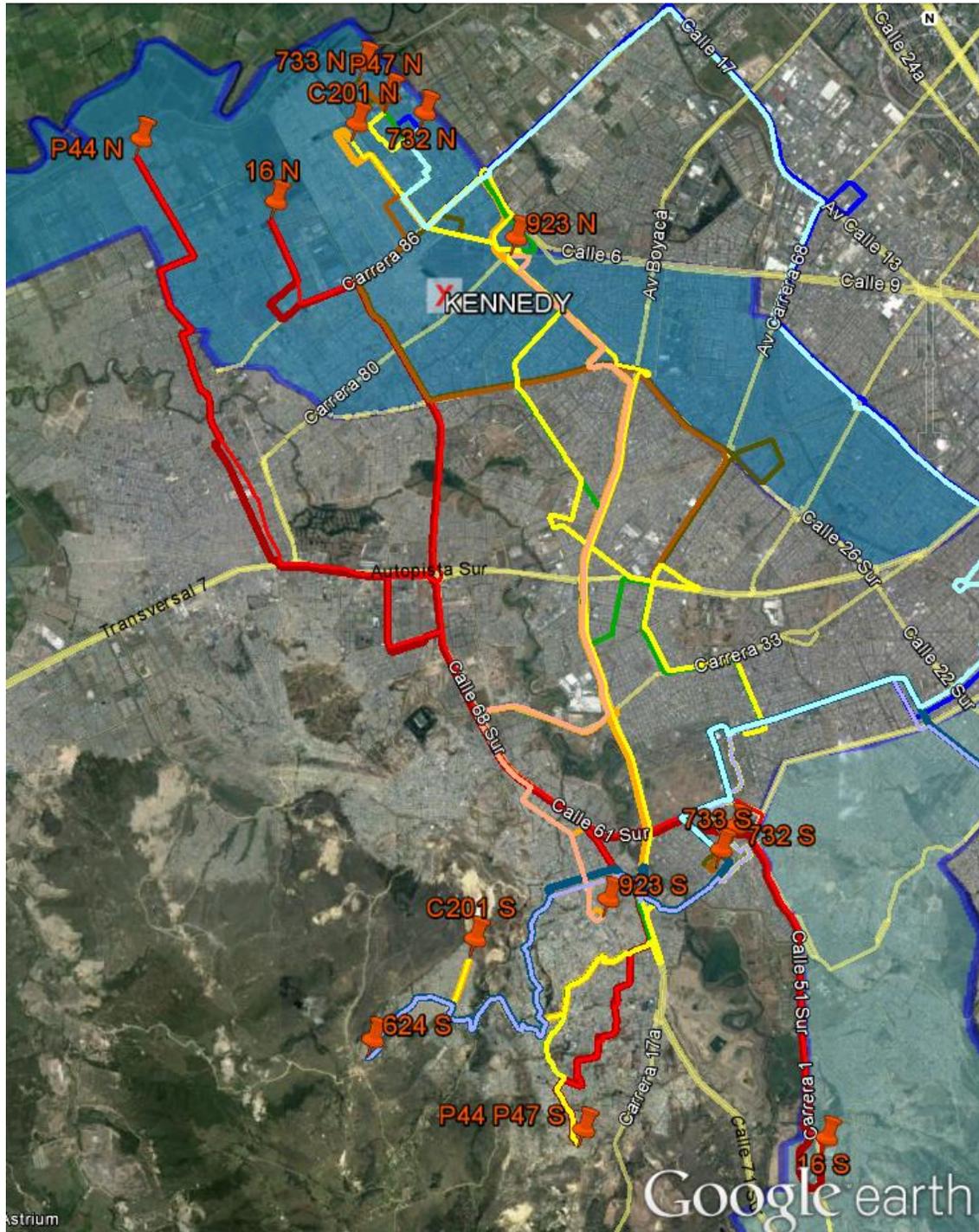
La única ruta que conecta Usme con Ciudad Bolívar es la 624, que utiliza como conector principal la Av. Carrera 24.

Figura 3.4 Rutas a Calle 80, Engativá y Fontibón.



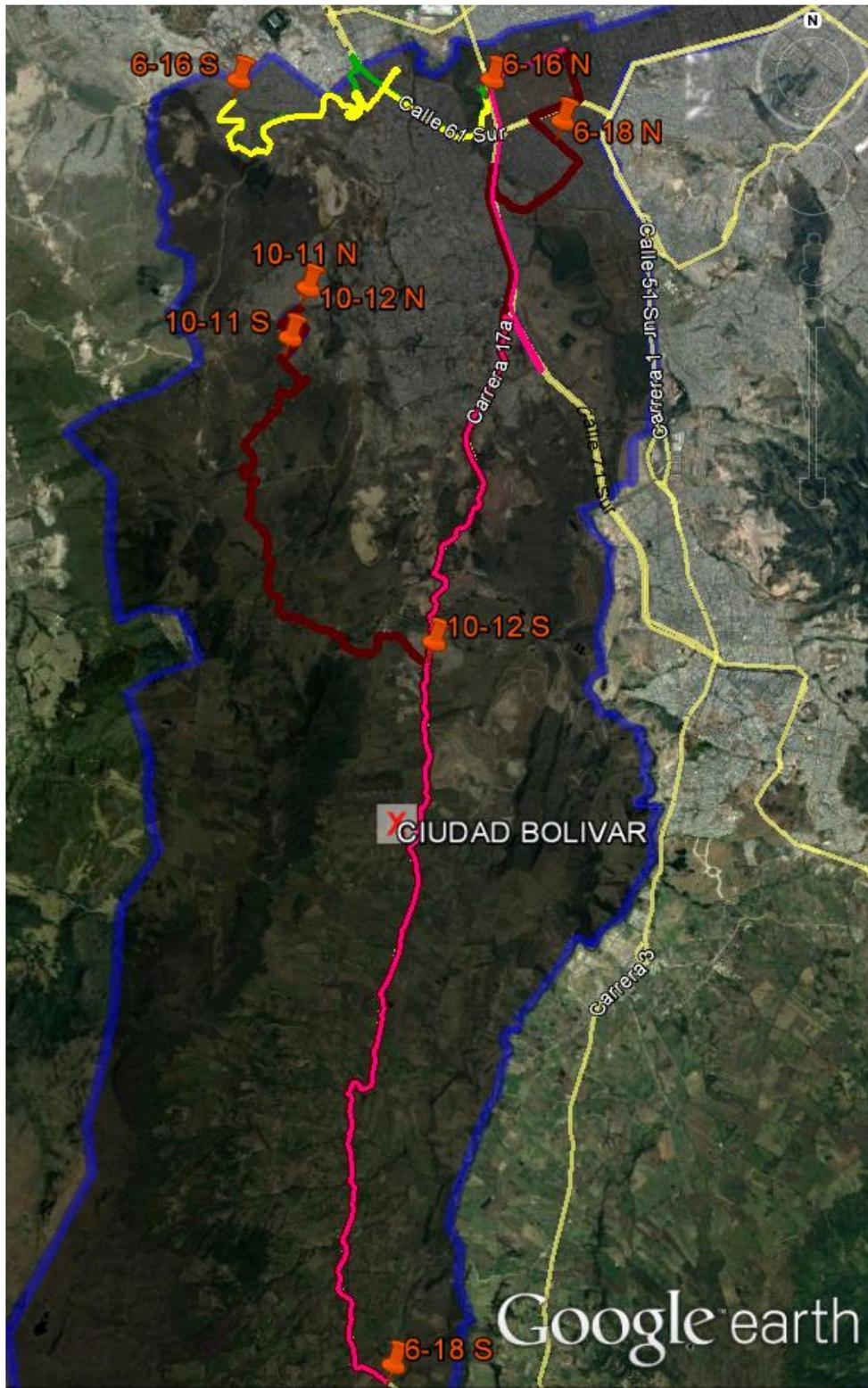
Fuente: Elaboración propia. Datos tomados del diseño Operacional SITP.

Figura 3.5 Rutas a Kennedy y Usme.



Fuente: Elaboración propia. Datos tomados del diseño Operacional SITP.

Figura 3.6 Rutas con origen y destino en Ciudad Bolívar.



Fuente: Elaboración propia. Datos tomados del diseño Operacional SITP.

Rutas con destino y origen en Ciudad Bolívar.

Estas son las rutas más cortas del diseño operacional, 2 de estas rutas se denominan “rutas rurales” (6-18 y 10-12) ya que van más allá del perímetro urbano de la ciudad, se tiene también la ruta 6-16 que está diseñada como un ruta alimentadora que conecta el portal del Tunal con un sector llamado Potosí y la ruta más corta de la zona, la 10-11 que se utiliza para conectar dos barrios de la zona, que aunque están muy cerca, por la condición montañosa de la zona, fue necesario implementarla.

En total se tienen 48 rutas, de las cuales 46 estaban en el diseño operacional original y 2 fueron propuestas por el operador de la zona y están operando actualmente (T11 y T12). No todas estas rutas se han implementado con el SITP, algunas actualmente las opera el SITP provisional, sin embargo, para el ejercicio de asignación que se va a realizar, todas se van simular como si operarán en el SITP, para poder realizar la comparación de los dos modelos completos.

En la tabla 3.1 se muestra un resumen de la cantidad de rutas que están pasando por los cuatro corredores principales de la ciudad de Bogotá que unen el Sur con el Norte de la ciudad.

Tabla 3.1 Rutas por vías principales.

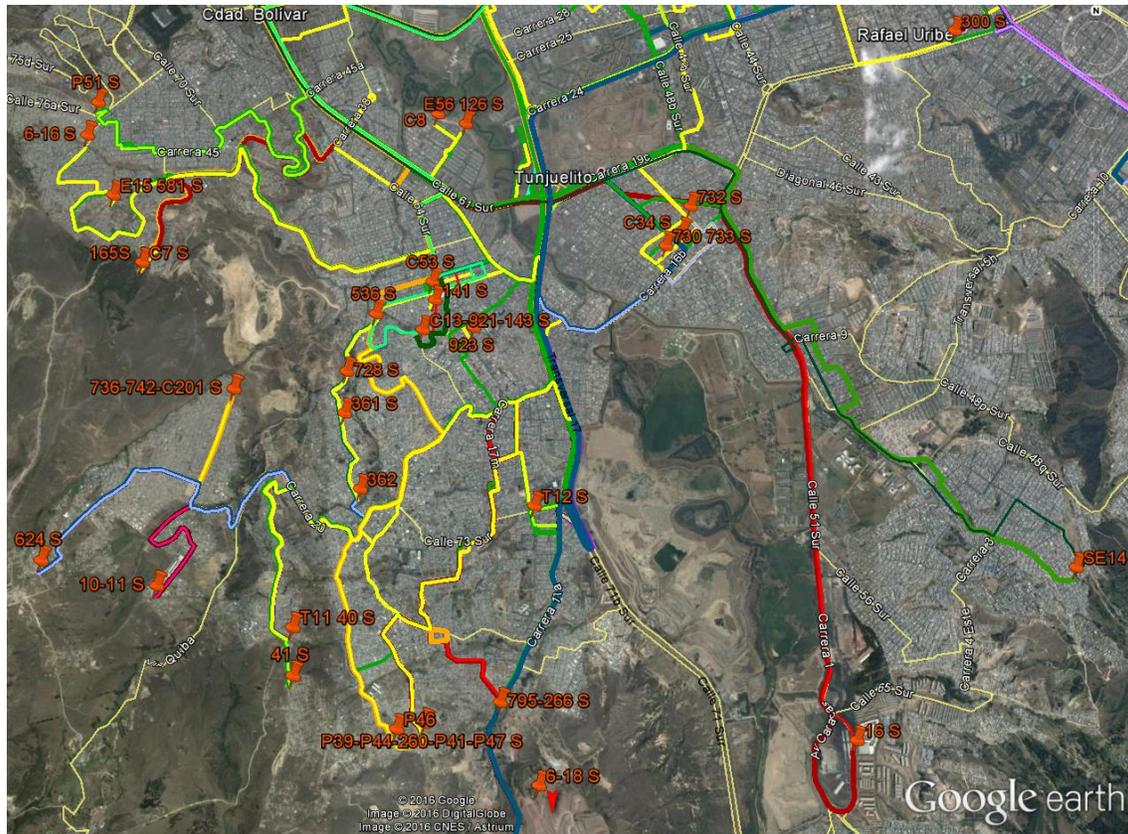
| Vía Principal | Rutas | No. Rutas. |
|------------------------|---|-------------------|
| Avenida Boyacá | C7, 141, 260, 165, 742, C34, 797, 730, 40, P39 y C201 | 11 |
| Avenida 68 | C13, 901, 728, C53, 736, E56, 362, 795, P51, 41 y P46 | 11 |
| Carrera 30. | T11, SE14 y 361 | 3 |
| Avenida Ciudad de Cali | 266, 581 y 536 | 3 |

Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede observar la avenida 68 y la avenida Boyacá, presentan un comportamiento crítico, con 11 rutas que pasan por cada corredor, esto significa que en algún tramo las rutas están compitiendo entre sí, generando posiblemente una sobre oferta sobre estos corredores, más aún, si se tiene en cuenta que sólo se están analizando las rutas de la zona de Ciudad Bolívar. Sin embargo existe otro grupo de rutas de otras zonas como la de Usme, que también tienen rutas por estos corredores principales. Lo clave de esto, es que para el esquema que se va a diseñar es necesario tener en cuenta la oferta actual por estos corredores y por los otros que están cubiertos con el esquema actual, y ofrecer distintas opciones para salir y llegar a la zona de Ciudad Bolívar.

Otro punto importante para revisar, es la cantidad de cabeceras de inicio de ruta que existen en la zona de Ciudad Bolívar. En la figura 3.7 se pueden observar todas las cabeceras que hay en la zona, para las 48 rutas existen 32 cabeceras diferentes, en sólo 10 opera más de una ruta, y más de dos sólo en 3. La cabecera que tiene más rutas como punto de inicio, es la que queda en el sector conocido como Arabia, donde inician 5 rutas.

Figura 3.7 Rutas con origen y destino en Ciudad Bolívar.



Fuente: Elaboración propia. Datos tomados del diseño Operacional.

Aunque algunas de las cabeceras se pueden unificar para dejar una sola, hay otras que por la distancia que las separan y los sectores, no es posible unificar, más adelante se analizará el impacto que tiene esto en todo el modelo operacional.

4. Propuesta esquema operacional.

4.1. Posibles esquemas operacionales.

Se va a realizar una evaluación cualitativa de dos propuestas operacionales distintas, con respecto al sistema de operación actual del sistema que opera en la zona de Ciudad Bolívar. Las variables a calificar se explican a continuación:

Número de transferencias: Cantidad total de transferencias que tendrían que hacer los usuarios para realizar sus viajes desde el origen hasta su destino final.

Tiempos de espera: Tiempo promedio que deben esperar los usuarios cada vez que tiene que tomar el servicio, desde el origen del viaje hasta el destino final.

Control de la operación: Todas las condiciones relacionadas con el cumplimiento en vía de los itinerarios programados de los buses (Intervalos de paso, tiempos de recorrido).

Cubrimiento: Los 2 esquemas deben garantizar el cubrimiento que tiene el sistema actual, luego, se evaluará este punto como las posibilidades origen – destino que tiene los usuarios pagando un solo tiquete.

Costos operacionales: Todo lo relacionado con la puesta en operación de la flota (Kilómetros en vacío, conductores, personal encargado del control de la operación).

Turnos de los conductores: Eficiencia en los turnos que deben realizar los conductores.

Seguridad vial: Todo lo relacionado con probabilidad de accidentes en la vía.

Los dos esquemas propuestos se explican a continuación:

Esquema de rutas alimentadoras (Esquema 1): La idea general de esta propuesta es tener rutas alimentadoras que cubran todos los orígenes de la zona de Ciudad Bolívar y conecten en puntos donde carguen a rutas que vayan por las avenidas principales hacia los principales destinos (Un sistema similar a Transmilenio), a diferencia que en los buses alimentadores del sistema

Transmilenio se haría el cobro en el bus, sin embargo se debe encontrar alguna alternativa para que no se incremente el costo de viaje actual del usuario, lo cual se estudiará más adelante en caso de que este sea el esquema seleccionado.

Esquema de rutas hacia el centro de la ciudad (Esquema 2): La otra posibilidad es acortar las rutas del sistema actual y llevarlas hacia los puntos centro de la ciudad donde se encuentra el mayor porcentaje de destinos.

En la figura 4.1 se puede observar un ejemplo de cómo sería cada uno de los esquemas.

Aunque se va a realizar una evaluación cualitativa, para poder cuantificar las propuestas se valorará de 0 a 2 los resultados de la siguiente manera:

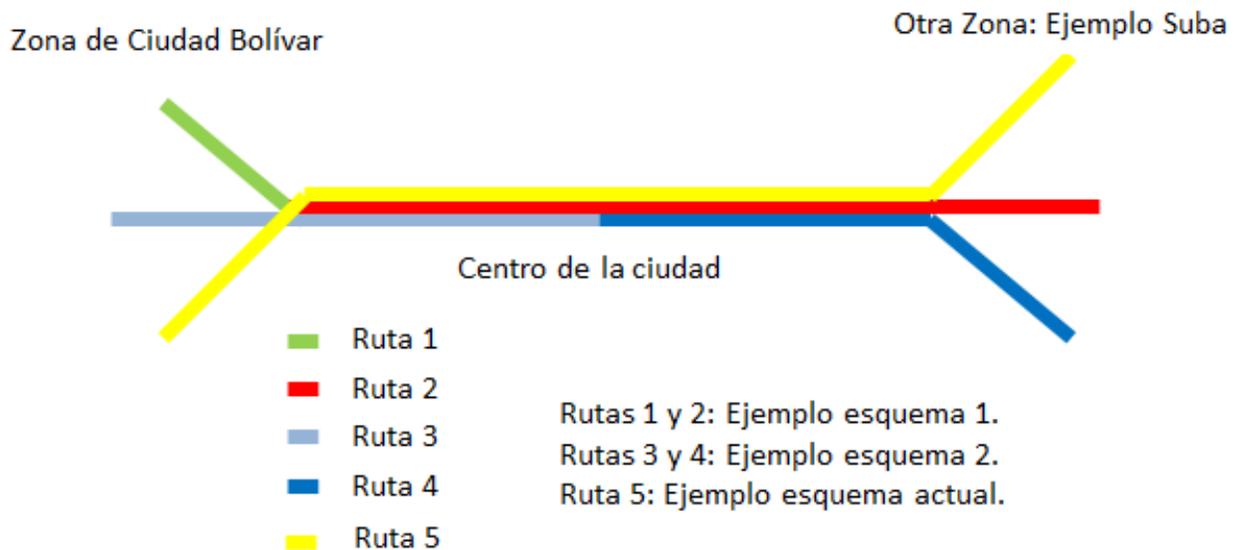
0: El esquema que menos beneficios aporta en la variable evaluada.

2: El esquema que más beneficios aporta en la variable evaluada.

1: El esquema que tiene una calificación intermedia.

En cada uno de los casos se explicarán las evaluaciones.

Figura 4.1. Ejemplo esquemas operacionales.



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4.1 Evaluación Esquemas

| | Esquema Actual | Esquema 1 | Esquema 2 |
|---------------------------|----------------|-----------|-----------|
| Número de Transferencias | 2 | 0 | 1 |
| Tiempos de Espera | 1 | 2 | 1 |
| Control de la operación | 1 | 2 | 1 |
| Cubrimiento | 1 | 2 | 0 |
| Costos Operacionales | 1 | 2 | 0 |
| Turnos de los conductores | 0 | 2 | 1 |
| Seguridad vial | 1 | 2 | 1 |
| TOTAL | 7 | 12 | 5 |

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla 4.1 se muestra la evaluación realizada a los tres esquemas y a continuación se explica cada variable:

Número de Transferencias:

Teniendo en cuenta que en un sistema de transporte las transferencias hacen referencias a aquellos viajes donde el usuario tiene que descender de un vehículo que está haciendo una ruta para tomar otro con una ruta distinta, se tiene que para las rutas del esquema actual, donde los orígenes y destinos están definidos en zonas puntuales de la ciudad Bogotá, la probabilidad de que el usuario tenga que realizar una transferencia se reduce. En cuanto al esquema 1, figura 4.1, prácticamente se obliga al usuario a realizar por lo menos una transferencia siempre que quiera salir de la zona de Ciudad Bolívar, por eso se podría decir que es el esquema con el mayor número de transferencias. Y en cuanto al esquema 2 figura 4.1, el usuario tendrá que hacer por lo menos una transferencia siempre que quiera ir de una zona a otra, exceptuando la zona centro de la ciudad.

Tiempos de espera:

Tener rutas largas operando por el carril mixto en una ciudad tan congestionada como Bogotá, aumenta el riesgo de no cumplir con los intervalos programados, por lo que en principio los tiempos de espera van a ser más largos en el esquema 2 y en el actual que en el Esquema 1, adicionalmente el esquema de alimentación permite tener mejores intervalos de paso por ruta sobre las avenidas principales, ya que al no tener necesidad de cubrir todos los pares origen-destino se reduce el número de rutas y por ende se puede asignar mayor cantidad de flota por ruta.

Control de la operación:

Actualmente el control de la operación del SITP se realiza desde un centro de control con el soporte de un software llamado SAE (Sistema de Ayuda de Explotación), que permite la georreferenciación de los vehículos y adicionalmente se tiene un soporte con personal en la vía para poder tener un mejor control.

Teniendo en cuenta lo anterior, el esquema 1 permite centrar el control físico de la operación en los puntos donde se integran las rutas alimentadoras con las rutas que van por los corredores principales, lo cual es una gran ventaja al momento de asegurar que se cumpla con la programación de los buses y operadores, ya que va a ser posible controlar varias rutas en un mismo punto y apoyar unas rutas con otras. El esquema actual tiene el inconveniente que existen muchas cabeceras para controlar en la zona de Ciudad Bolívar, teniendo en cuenta lo extenso de la zona. Es el mismo inconveniente que presenta el esquema 2.

Cubrimiento:

Los 2 esquemas garantizan el mismo cubrimiento que tiene el esquema actual, en cuanto a los trazados por donde pasan las rutas, sin embargo, el esquema 1 tiene la ventaja que le permite al usuario tener una mayor variedad de destinos con el pago equivalente de un pasaje, ya que al llegar al punto de interconexión podrá elegir entre varias rutas. En cuanto al esquema 2, se dejan cubrir los destinos que quedan en otras zonas distintas al centro de la ciudad con el pago de un solo tiquete, por lo cual en esta variable, estaría por debajo del esquema actual.

Costos Operacionales:

Teniendo en cuenta la ventaja operacional que tiene el esquema 1, al tener puntos de integración, se puede tener menos personal para controlar las rutas que en los otros dos esquemas, lo que quiere decir que por ese lado los costos serán menores, adicionalmente dependiendo del lugar donde queden ubicados dichos puntos y la ubicación de los garajes de los buses, será posible reducir los kilómetros en vacío totales que recorra la flota. El esquema 2 tiene un costo adicional al esquema actual y es que se va a aumentar el número de rutas que van a operar, y por ende se necesitará más personal para realizar el control.

Turnos de los conductores:

En este punto el esquema 1 presenta dos grandes ventajas con respecto al esquema actual. La primera que también la tiene el esquema 2, es que al partir las rutas actuales, se van a tener rutas con tiempos de recorrido más cortos, lo que va a permitir generar mayores posibilidades para los turnos de conducción y por ende obtener mejores resultados en cuanto a eficiencia en las horas de trabajo y equidistribución del trabajo diario.

En el siguiente ejemplo se explica este punto:

Una ruta en el esquema actual puede tener un tiempo de ciclo promedio por sentido de 3 horas, para un tiempo total de 6 horas. Bajo esa condición se tendrían tres posibles turnos de conducción para los operadores, uno de 3 horas, uno de 6 horas y otro de 9 horas. Si se recorta la ruta y se obtiene un tiempo de ciclo promedio por sentido de 2 horas, las posibilidades de turnos, aumenta a 5 (2, 4, 6, 8 y 10 horas), lo anterior teniendo en cuenta que el máximo número de horas trabajadas permitidas en la legislación Colombiana es de 10 horas. Si suponemos que se tienen contratos de trabajo de 48 horas semanales, con cada uno de los esquemas se podrían organizar los turnos de la siguiente manera para lograr las 48 horas de trabajo en la semana:

| | Lunes | Martes | Miércoles | Jueves | Viernes | Sábado | Domingo | Total Horas |
|----------------|-------|--------|-----------|--------|---------|--------|----------|-------------|
| Esquema Actual | 9 | 9 | 9 | 9 | 6 | 6 | Descanso | 48 |
| Otro Esquema | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | Descanso | 48 |

En ambos casos se logran las 48 horas de trabajo, sin embargo, en el esquema actual hay días donde el conductor debe trabajar más y los días en los que trabaja 9 horas iniciará su turno en un punto de la ciudad y terminará en el otro extremo, lo cual implica por lo menos un viaje de desplazamiento adicional para el conductor. Aunque este es sólo un ejemplo, en general, al aumentar las posibilidades en los turnos de conducción, se podrán obtener mejores resultados.

La otra ventaja que tiene el esquema 1 es la centralización de los turnos de conducción en los puntos de interconexión, esto va a permitir tener turnos en un mismo día en distintas rutas sin necesidad de desplazamientos por parte del conductor, lo que va a permitir aumentar aún más el número de posibilidades, y por ende obtener mejores resultados para los turnos de conducción.

Seguridad vial:

Como se revisó anteriormente la zona de Ciudad Bolívar se caracteriza por tener vías angostas y altas pendientes en algunos sectores, razón por la cual no es tan recomendable operar con buses grandes en dichas zonas, ya que se aumenta la probabilidad de presentarse un accidente. En ese sentido el esquema 1 puede tener una ventaja, y es que se puede optar por tener en las rutas alimentadoras los buses de menor tamaño, y en la medida de lo posible dejar los buses más grandes para que rueden en las rutas troncales sobre las principales vías de la ciudad.

Teniendo en cuenta las variables analizadas, y el resultado obtenido, en el presente trabajo se va a profundizar en el esquema 1, se realizará el análisis completo y una propuesta garantizando el cubrimiento que tiene el esquema actual.

4.2. Asignación transporte público sin limitación de rutas.

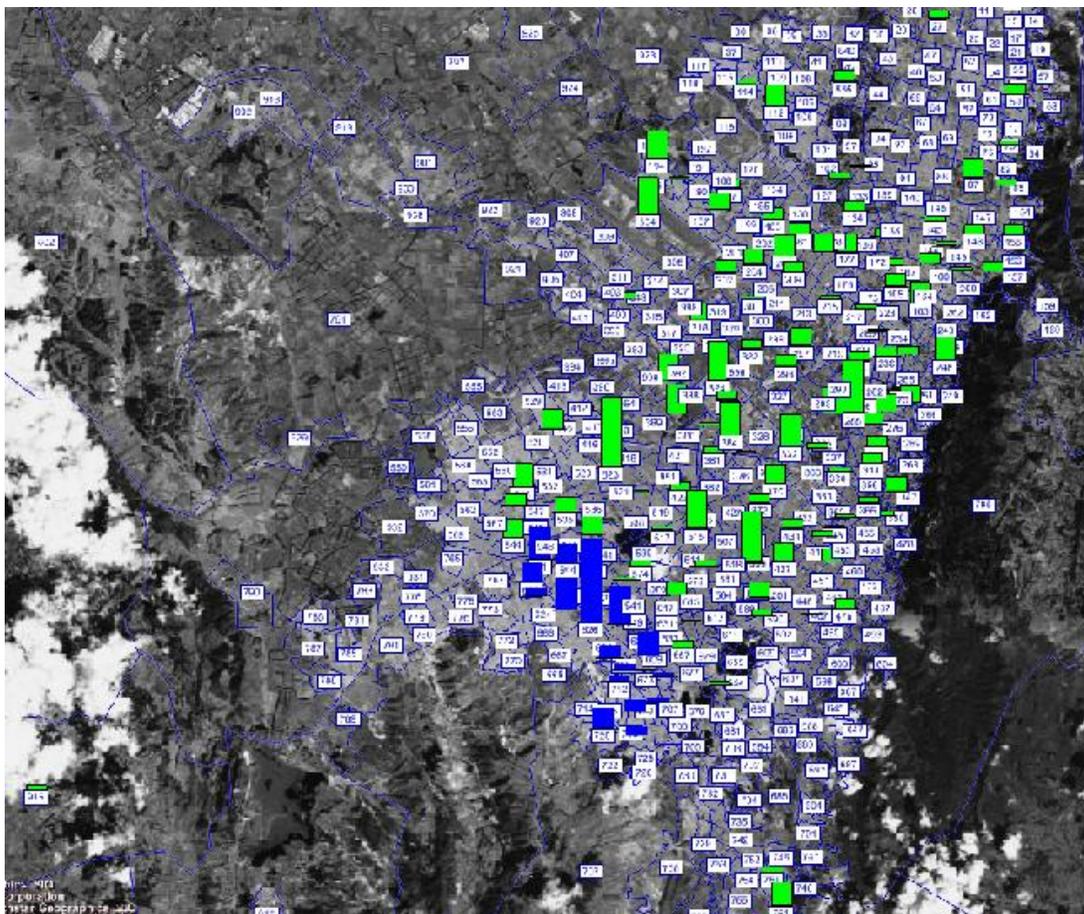
Teniendo en cuenta los inconvenientes que ha presentado el SITP de la ciudad de Bogotá se plantea una alternativa diferente, en la cual se tiene en cuenta la situación actual de la ciudad y los cambios que están planeados en temas de movilidad. Con el nuevo esquema se pretende poder prestar un mejor servicio al usuario y a su vez poder mejorar el control de la operación que ejerce actualmente la empresa zonal del sistema que presta el servicio a la comunidad de Ciudad Bolívar.

Se construyó la matriz origen – destino de Bogotá, utilizando la encuesta de movilidad realizada en el 2011. Se separó la matriz en transporte público y transporte privado, teniendo en cuenta los datos del medio de transporte utilizado en cada uno de los viajes que se encontraban en la encuesta.

Para el ejercicio inicial se calculó la franja horaria donde se realizaba el mayor número de viajes de transporte público desde o hacia la zona de Ciudad Bolívar, como resultado se obtuvo la franja de las 6 a las 7 de la mañana como el pico de número de viajes de la zona y fue la matriz origen destino que se cargó al software. Para esta primera simulación se utilizó el software alemán “Visum”, del cual se pueden encontrar las características más adelante, la razón principal para utilizar este software es que es el único que permite descargar la red de transporte de “Street maps”, la cual es muy completa y adicionalmente se pueden seleccionar fácilmente los corredores autorizados para la circulación del transporte público de pasajeros.

En la figura 4.2., se pueden observar representados los vectores de generación (Color azul) y atracción (Color verde) de la franja horaria antes mencionada, como se puede observar es muy pequeña la atracción de viajes dentro de la misma zona, y la mayor cantidad de viajes se realizan hacia el centro de la ciudad, el sector de la calle 100 entre la autopista y la séptima y hacia el denominado sector industrial de la ciudad, esto va a determinar los trazados óptimos que deben tener las rutas.

Figura 4.2. Generación – Atracción hora pico Ciudad Bolívar

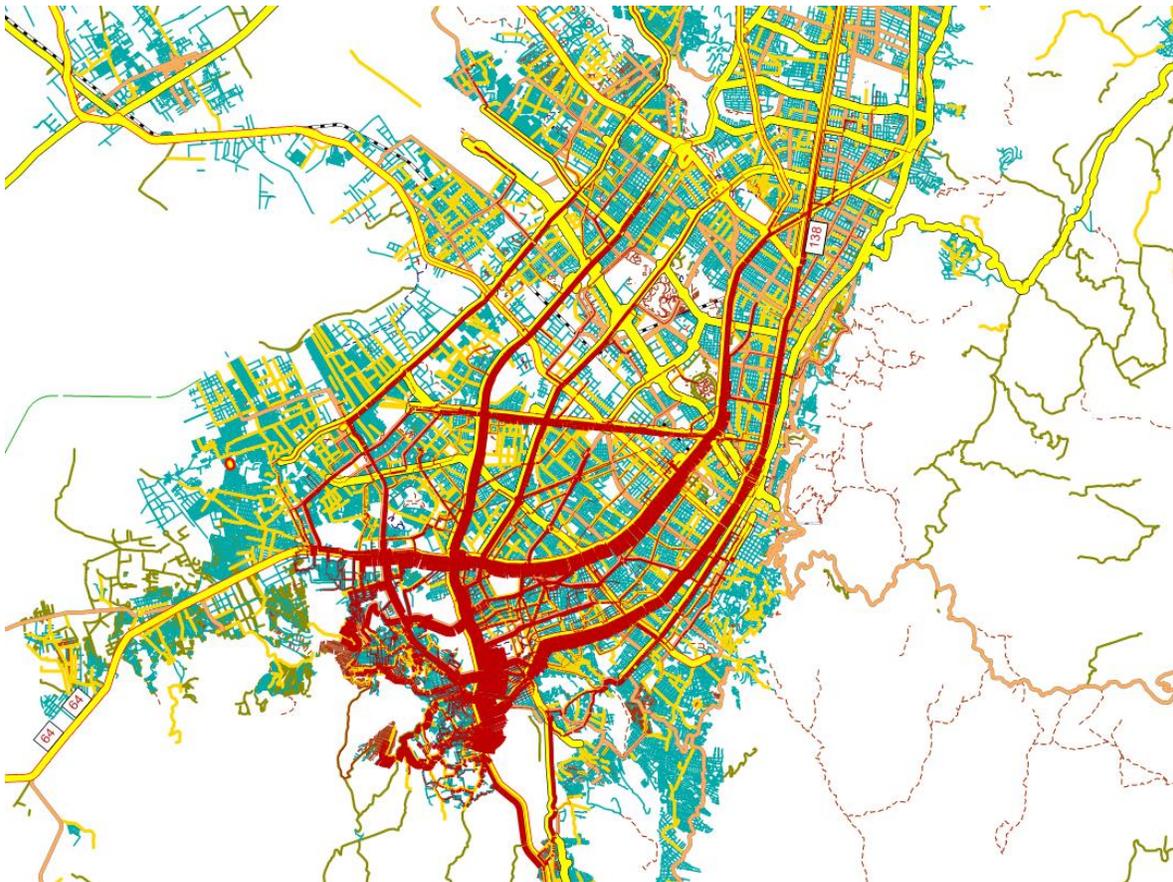


Fuente: Elaboración propia con datos de Encuesta de movilidad 2011.

Utilizando la matriz origen destino de la hora pico para el transporte público de la zona de Ciudad Bolívar, se realizó un ejercicio de asignación sin limitación de rutas (Como si fuera transporte privado), en la figura 4.3., se puede visualizar el resultado. Este ejercicio se realizó para tener el acercamiento inicial de cómo se debe realizar el diseño de las rutas del sistema, ya que va a mostrar

cuales son las rutas ideales para la población que habita la zona. Como se puede observar hay corredores que son determinantes (La avenida Boyacá, la carrera 30, la avenida 68, la avenida Villavicencio), y será necesario tener rutas con muy buenos intervalos de paso para poder atender la demanda que en ellos se genera, una de las hipótesis de este trabajo es que en esos corredores principales debe haber puntos de alimentación y pasar rutas con alto nivel de servicio para reducir el impacto y costo generalizado de las transferencias. Otra característica de esta zona es que el mayor flujo de salida y entrada se presenta por la avenida Boyacá, y por esa razón es sobre esta vía donde se genera la mayor cantidad de atascamientos, por lo cual será importante revisar los corredores de salida y entrada alternos de la zona para poder obtener la mejor solución posible. Como se puede observar otra vía importante por donde hay un flujo importante de personas de la zona de Ciudad Bolívar movilizándose es la avenida Villavicencio, la cual también será objeto de estudio en este trabajo.

Figura 4.3. Asignación hora pico zona Ciudad Bolívar.



Fuente: Elaboración propia con datos de Encuesta de movilidad 2011.

Con este trabajo se busca realizar una propuesta en la cual las rutas vayan a los destinos requeridos por los usuarios de la zona de Ciudad Bolívar y que los activos estén prestando el servicio donde los usuarios más lo requieran, por eso es importante este primer ejercicio sin limitarlo por las rutas que operan actualmente, además se espera aumentar la oferta de destinos para las personas que residen en las partes altas de la localidad.

Para la implementación de la propuesta, será necesario acordar con Transmilenio los pasos y los resultados que se deben cumplir para alcanzar el rediseño y seleccionar el esquema inicial de operación, los niveles de servicio son la base fundamental de la propuesta, buscando aumentar el número de usuarios servidos, disminuir los tiempos de espera de los usuarios y aumentar la oferta de rutas para cada uno de los orígenes que se identificaron en el ejercicio inicial.

En general, la propuesta inicial es diseñar un esquema de alimentación, con mejores frecuencias que las del servicio actual, buscando integrar a los usuarios en puntos específicos, previamente seleccionados. Y tener un esquema de rutas por los corredores principales (NQS, avenida 68, Av. Boyacá y Av. Ciudad de Cali).

4.3. Propuesta nuevo esquema operacional.

En este punto, se estructura la propuesta del nuevo esquema, teniendo en cuenta la revisión realizada al esquema que opera actualmente, y los dos ejercicios anteriores, con respecto al esquema de operación seleccionado en el numeral 4.1 y el ejercicio de asignación de transporte público realizado en el punto 4.2.

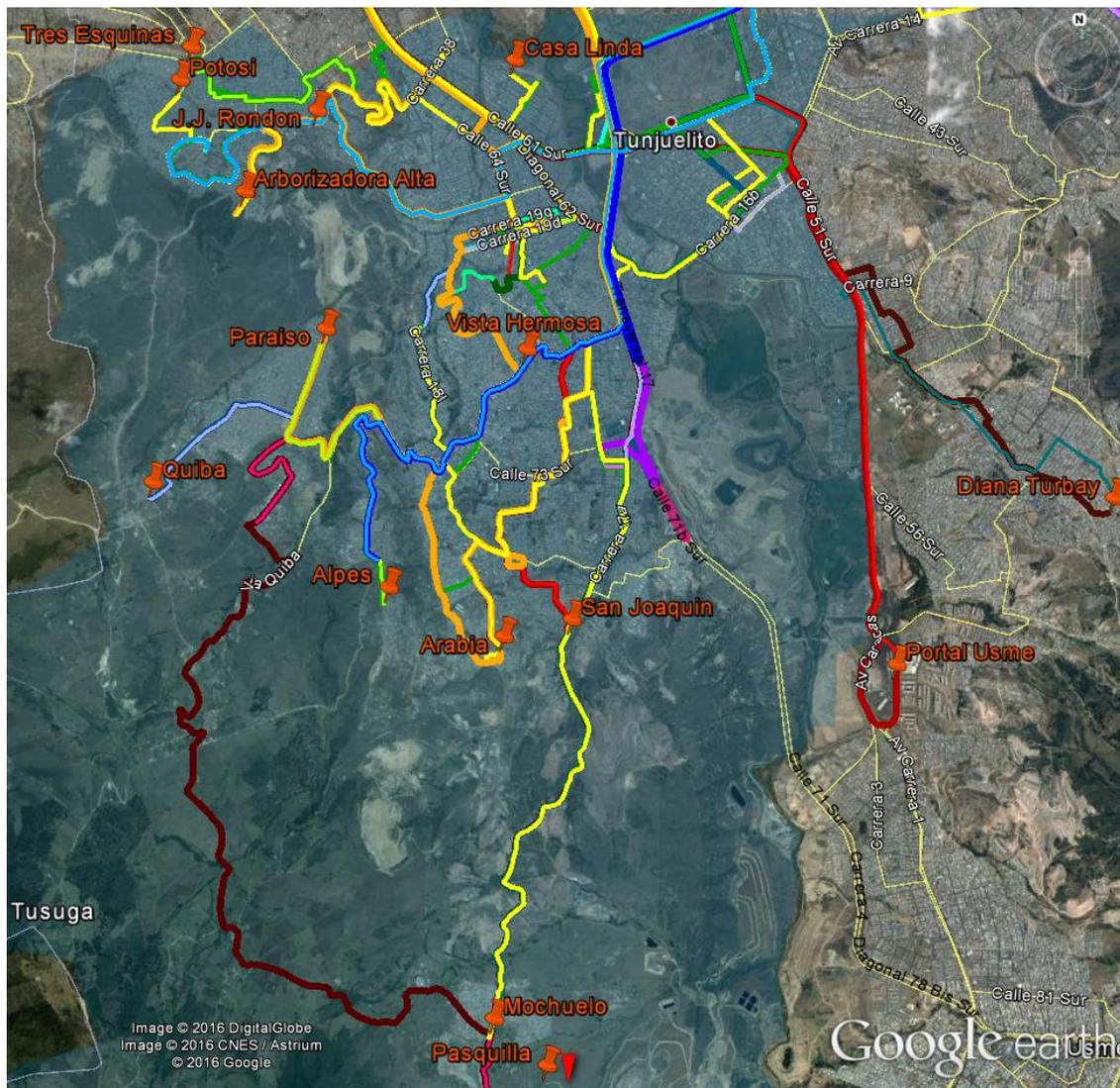
4.3.1. Cabeceras zona Ciudad Bolívar.

Ya se realizó la revisión del esquema actual, en donde se encontró que es necesario cubrir 32 cabeceras distintas que están en la zona de Ciudad Bolívar. Sin embargo, lo primero que se va a realizar con el nuevo esquema, es unificar la mayor cantidad de cabeceras, con el fin de poder reducir el número de rutas, sin perder la cobertura. Para la unificación se tuvo en cuenta que la

distancia máxima adicional que debería caminar el usuario a la nueva cabecera o paradero de la ruta, no debería ser mayor en ninguno de los casos a 500 metros.

Teniendo en cuenta la condición anterior, y que hay rutas que pasan por las cabeceras de otras rutas, se puede reducir a 15 cabeceras, sin perder el cubrimiento que se tiene actualmente. En la figura 4.4 se muestra el ejercicio realizado, las 15 cabeceras con los trazados de las rutas del esquema actual.

Figura 4.4 Unificación cabeceras Zona Ciudad Bolívar.



Fuente: Elaboración Propia. Imagen: Google earth.

Como se puede observar en la figura 4.4, hay dos cabeceras (Portal Usme, Diana Turbay), que realmente no hacen parte de la zona de Ciudad Bolívar, lo anterior se presenta por cambios que ha realizado el operador zonal que presta estas rutas (16 y SE14), y aunque en el diseño operacional original hacían parte de la zona, actualmente sus cabeceras están realmente en la zona de Usme, la ruta 16 se puede dejar tal cual como está operando actualmente (Transmilenio S.A. 2009), comunicando los portales de Américas y Usme y la ruta SE14 quedará dividida en dos, como se mostrará más adelante.

Para las restantes 13 cabeceras tendrá que existir al menos una ruta alimentadora que conecte con una de las vías principales.

4.3.2. Puntos de integración.

Para continuar con la elaboración del nuevo esquema, es necesario definir unos puntos de integración, que como su nombre lo indican son los paraderos donde el usuario podrá tomar una ruta “alimentadora” que para el caso del presente trabajo se llamará ruta “Colectora” con el fin de diferenciarlas de las rutas alimentadoras del sistema troncal de Transmilenio o una ruta “troncal” que se nombrará como ruta “urbana” por la misma razón anterior, y realizar las transferencias entre estos dos tipos de ruta. Estos puntos se van a definir teniendo en cuenta principalmente las dos siguientes condiciones:

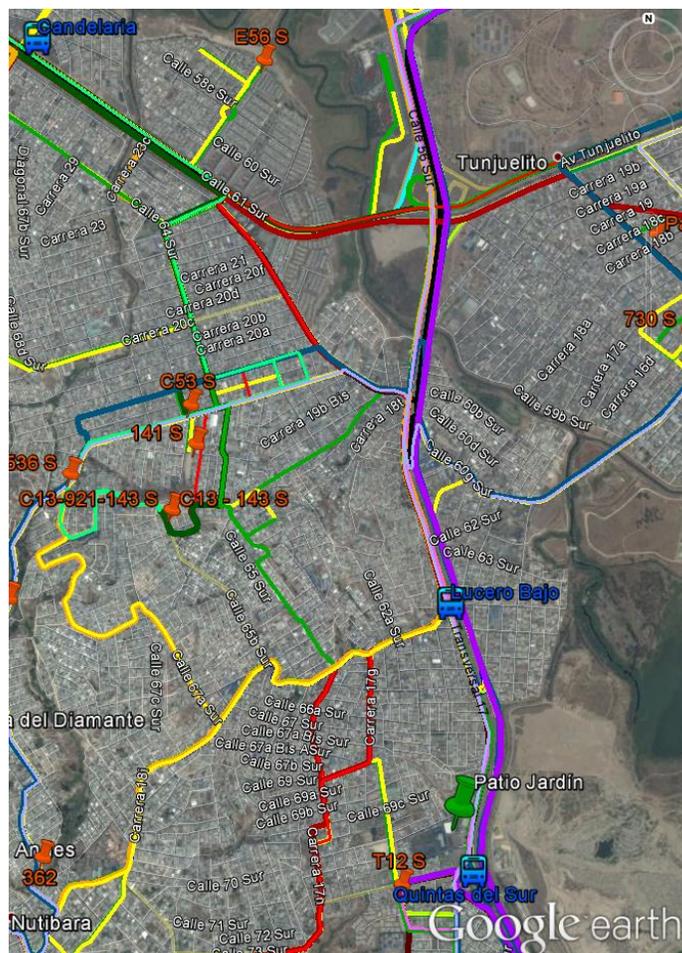
- Las vías de salida a las avenidas principales que están utilizando las rutas actuales.
- Que exista el espacio adecuado, para situar estos paraderos donde van a llegar y a salir varias rutas.

Teniendo en cuenta lo anterior se encontraron 3 puntos claves en Ciudad Bolívar, en la figura 4.5 se pueden observar, y fueron nombrados de la siguiente manera teniendo en cuenta el sector donde se encuentran ubicados: Candelaria, Lucero Bajo y Quintas del sur. Por estos tres puntos están pasando todas las rutas que salen de las 13 cabeceras definidas en el punto anterior y adicionalmente se logra la conexión con las avenidas principales cumpliendo el primero de los requerimientos.

En cuanto al segundo requerimiento fue necesario realizar la visita en campo, para definir el punto exacto y el espacio que habría para implementar estos puntos de integración con los distintos paraderos, teniendo en cuenta el tamaño de los buses, y la cantidad de rutas que están pasando por cada uno de los puntos. Sin embargo, antes de realizar la revisión y definición de como operarían estos puntos, es necesario definir el sistema de rutas que va a operar en cada uno de los casos.

4.3.3. Rutas colectoras.

Figura 4.5 Punto de integración nuevo esquema operacional.



Fuente: Elaboración Propia. Imagen: Google earth.

Al tener definida la unificación de cabeceras en la zona de ciudad Bolívar, ya se tiene la entrada principal para definir el sistema de rutas colectoras, ahora lo que hay que definir son los trazados de

cada una de las rutas teniendo en cuenta el punto de integración al cual van a llegar y garantizando el cubrimiento que se tiene con el esquema operacional original. A continuación se presentan las rutas colectoras en cada uno de los puntos de integración.

Rutas colectoras Candelaria.

En la figura 4.6 se pueden observar las rutas colectoras que estarían llegando a Candelaria. Con el diseño de estas rutas se busca cubrir la demanda de 6 cabeceras (Potosí, Tres esquinas, J.J. Rondón, Arborizadora Alta, Casa Linda y Vista Hermosa), los trazados se diseñaron de forma tal que cubrieran los trazados de las rutas que estaban en el diseño operacional original y los ajustes que se han realizado en la operación actual, manteniendo la condición de tener máximo 500 metros de diferencia con la cobertura que se tiene actualmente. Serían entonces 6 rutas, una por cabecera y para el diseño llevarán ese nombre, adicionalmente se van a codificar como R (Ruta) C (Colectora) y un consecutivo del 1 al 6, en el orden que se mencionaron anteriormente, con lo cual la ruta Potosí tendría el código RC1 y la ruta a Vista Hermosa tendría el código RC6 como se puede observar en la tabla 4.1.

Figura 4.6 Rutas Colectoras Candelaria.



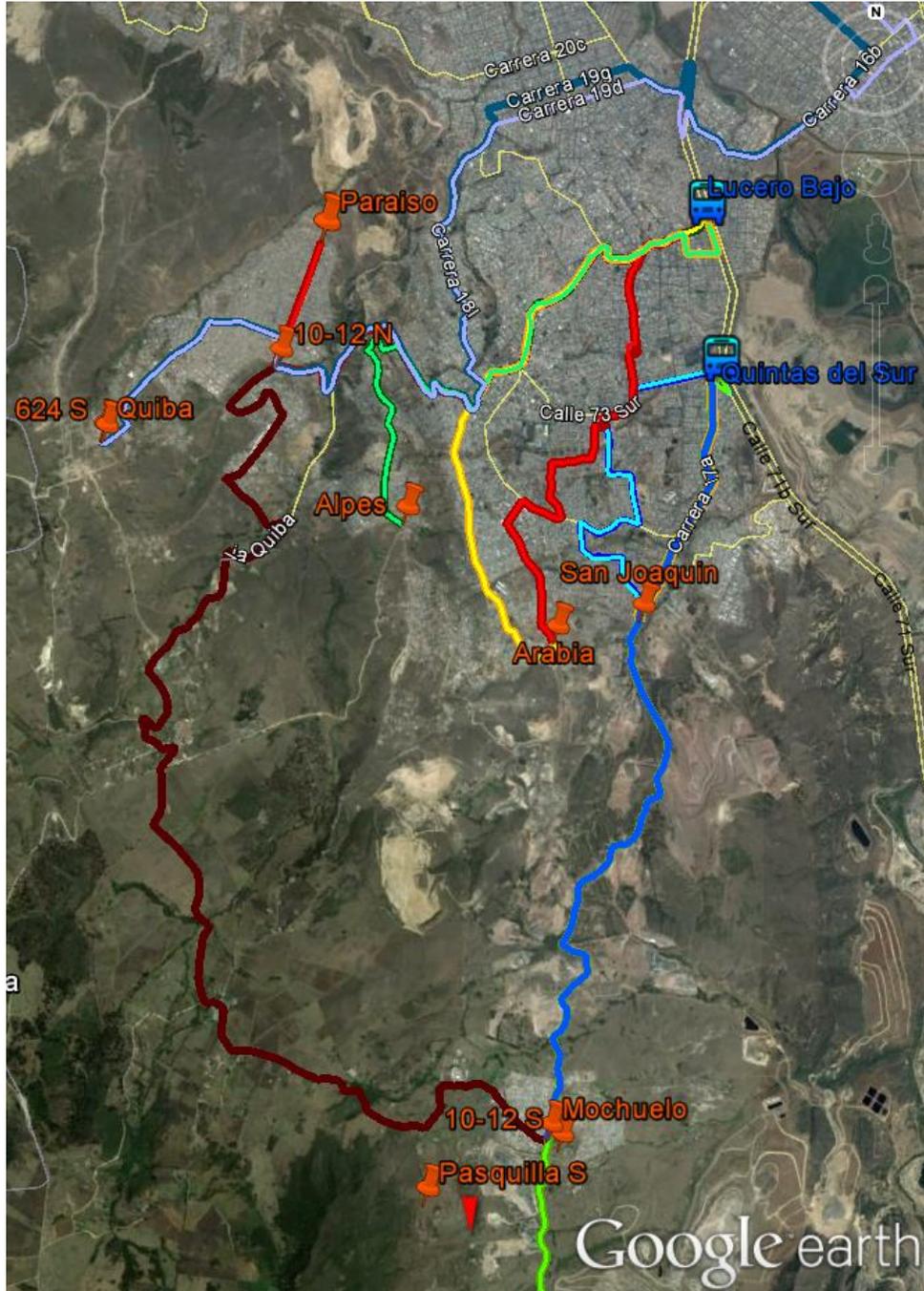
Fuente: Elaboración Propia. Imagen: Google earth.

Rutas colectoras Lucero Bajo y Quintas del sur.

Estos dos puntos de integración quedan sobre la avenida Boyacá, sólo que uno queda más al sur que el otro, sin embargo los usuarios de estas rutas podrán utilizar todas las rutas troncales que pasen por esta avenida. Con estas rutas se están cubriendo las otras 7 cabeceras, hay dos rutas que se van a dejar tal cual cómo operan actualmente debido a la función que están desempeñando, la primera es la ruta 10-12, se deja igual porque es una ruta rural que cubre la vía Quiba entre Mochuelo y la vereda de Quiba, y la ruta 624 la cual transporta a los usuarios de Quiba, pasa por la avenida Boyacá, pero adicionalmente está conectando la zona con el Portal del 20 de Julio, pasando por el Barrio San Carlos. Adicional a estas dos rutas, se crearon 8 rutas colectoras nuevas, 4 llegan al punto de Quintas del Sur, de las cuales 2 están saliendo de la cabecera de San Joaquín por vías diferentes para garantizar la cobertura que se tiene actualmente, la otra sale de la cabecera de Pasquilla y la última de Mochuelo, se nombran siguiendo el consecutivo de las rutas colectoras de la RC7 a la RC10. Las otras 4 rutas colectoras llegan al punto de integración de Lucero Bajo, dos inician en la cabecera de Arabia, una para cubrir el barrio “El lucero” y la otra para cubrir el barrio “La estrella”, la tercera ruta inicia en Paraíso y la última inicia de la cabecera de Alpes, completando así un total de 14 rutas colectoras y dos rutas que aunque también cumplen función de ruta colectora, se van a dejar con el nombre que tienen actualmente, ya que no se está realizando cambio en sus trazados.

En la figura 4.7 se pueden observar las 10 rutas que operarían esta zona, se tuvieron en cuenta los dos sentidos de la ruta (Alimentación y desalimentación), teniendo en cuenta los puntos de retorno que se tiene actualmente y el sentido de cada una de las vías.

Figura 4.7 Rutas Colectoras Lucero Bajo y Quintas del Sur.



Fuente: Elaboración Propia. Imagen: Google earth.

Tabla 4.2 Rutas colectoras nuevo esquema operacional.

| Código | Nombre | Punto de Integración |
|---------------|------------------------|-----------------------------|
| RC1 | Potosí | Candelaria |
| RC2 | Tres Esquinas | Candelaria |
| RC3 | J.J. Rondón | Candelaria |
| RC4 | Arborizadora Alta | Candelaria |
| RC5 | Casa Linda | Candelaria |
| RC6 | Vista Hermosa | Candelaria |
| RC7 | San Joaquín - Directo | Quintas del Sur |
| RC8 | San Joaquín - La María | Quintas del Sur |
| RC9 | Pasquilla | Quintas del Sur |
| RC10 | Mochuelo | Quintas del Sur |
| RC11 | Arabia - La Estrella | Lucero Bajo |
| RC12 | Arabia - Lucero | Lucero Bajo |
| RC13 | Paraíso | Lucero Bajo |
| RC14 | Alpes | Lucero Bajo |

Fuente: Elaboración Propia.

4.3.4. Rutas urbanas.

Para el diseño de las rutas urbanas, que son las rutas que operan por las principales vías de la ciudad y que van a conectar la zona de Ciudad Bolívar con el resto de zonas de la ciudad, se van a tener en cuenta las siguientes condiciones:

- Deben haber rutas que conecten los puntos de integración con las principales vías de la ciudad (Según el resultado encontrado en el punto 4.2)
- Se debe tener por lo menos una ruta que vaya a cada una de las zonas del SITP que actualmente tienen servicio hacia o desde la zona de Ciudad Bolívar.
- Se deben tener como base los trazados de las rutas que están operando actualmente tanto del SITP como del SITP Provisional¹.

Como el nuevo esquema busca cubrir la zona de Ciudad Bolívar, el ejercicio se va a centrar en el servicio que se presta a dicha zona, luego es posible que queden cabeceras en otras zonas de la

¹ Información de rutas que funcionan a Agosto del 2016 del SITP y SITP provisional según información suministrada por Transmilenio S.A.

ciudad que no queden cubiertas por el nuevo esquema, sin embargo se dará prioridad a las cabeceras que están cubiertas actualmente por rutas del SITP, además se tiene en cuenta el ejercicio de caracterización de la demanda mostrado en el capítulo 2 y el ejercicio de asignación preliminar que se desarrolló en la primera parte del capítulo 3. Teniendo en cuenta lo anterior, para las simulaciones que se realizarán para comparar el modelo actual con el propuesto se tendrán en cuenta el funcionamiento de las rutas actuales, tanto del SITP como del SITP provisional, sin embargo para que la comparación sea equitativa, las rutas que hacen parte del SITP provisional se simularán como rutas del SITP.

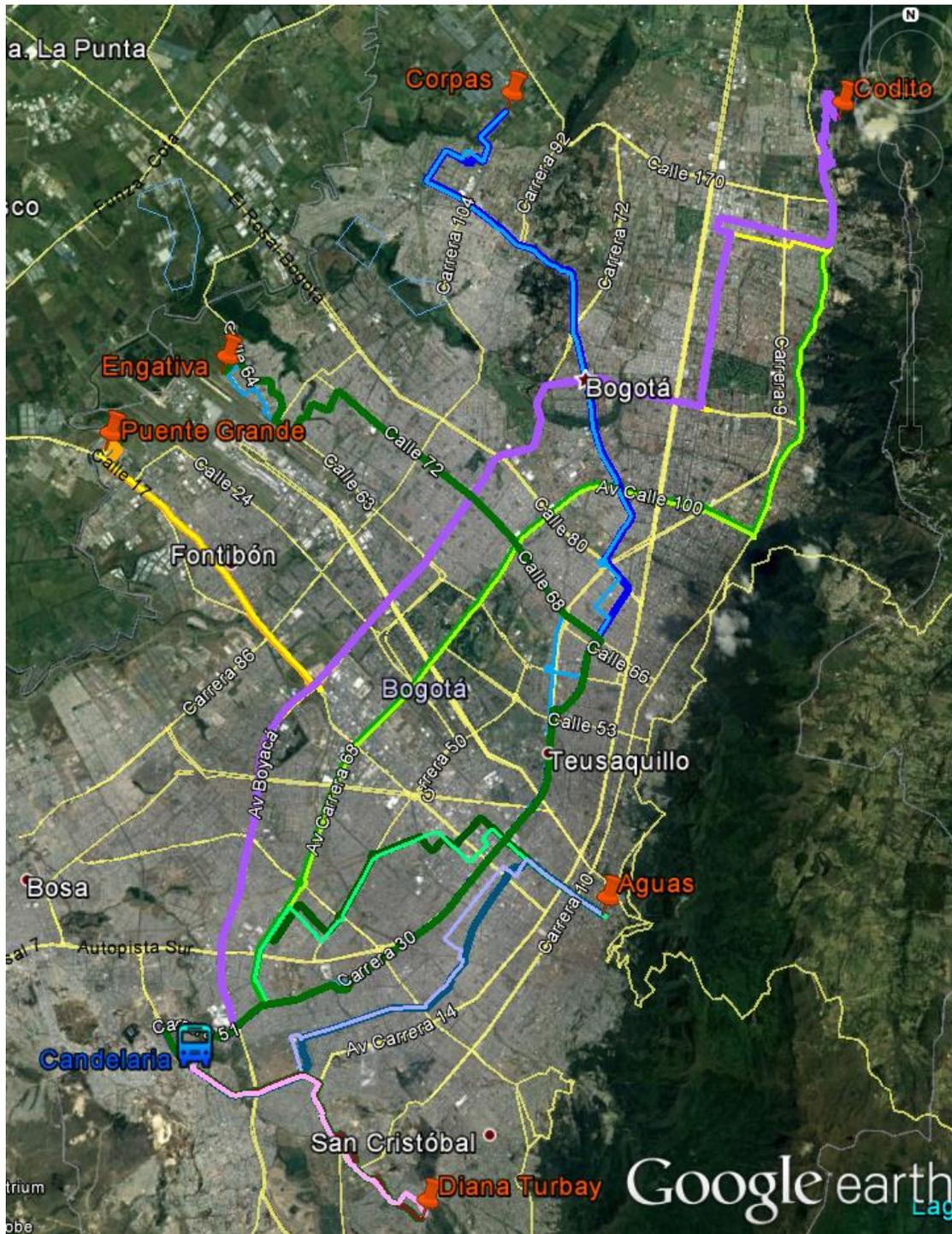
De la misma manera que se hizo con las rutas colectoras, este grupo de rutas también se va a dividir en dos, las que inician en el punto de integración “Candelaria”, y las que inician en los puntos de “Quintas del sur” y “Lucero Bajo”.

Rutas urbanas Candelaria.

Como se mencionó anteriormente, se va a tomar como base, las rutas que están operando actualmente en la ciudad de Bogotá, para el caso del punto de integración de Candelaria, se están han seleccionado 6 destinos en la ciudad, cubriendo 6 cabeceras (Fontibón – Puente Grande, Engativá - Engativá, Suba Centro- Corpas, Usaquén – Codito, Zona Neutra – Aguas, Usme – Diana Turbay). En total se están dejando 8 rutas con la siguiente cobertura:

- La avenida Boyacá con una ruta hasta la calle 13 que va a Fontibón y otra hasta la calle 127 que va hacia el Codito.
- La avenida 68 con una ruta que la cubre completamente conecta con la calle 100 y toma la carrera séptima para llegar a Códito.
- La carrera 50 con una ruta que toma después la Calle 19 para llegar al centro de la ciudad.
- La avenida NQS con una ruta que va hasta Suba Corpas, y otra ruta hasta la calle 68, que baja hacia Engativá.
- La carrera 24 por una ruta que sale por Tunjuelito y también está llegando al Centro de la Ciudad a un sector conocido como las Aguas.
- La avenida Villavicencio hasta la avenida Caracas llegando a Diana Turbay en la zona de Usme.

Figura 4.8 Rutas Urbanas Candelaria.



Fuente: Elaboración Propia. Imagen: Google earth.

No se dejó ninguna ruta cubriendo la avenida Ciudad Cali, lo anterior porque las rutas que salgan de los otros dos puntos de integración por esta avenida, tendrán que pasar necesariamente por el punto de Candelaria como se mostrará más adelante, lo mismo pasa con las rutas que se dirigen hacia la zona de Kennedy.

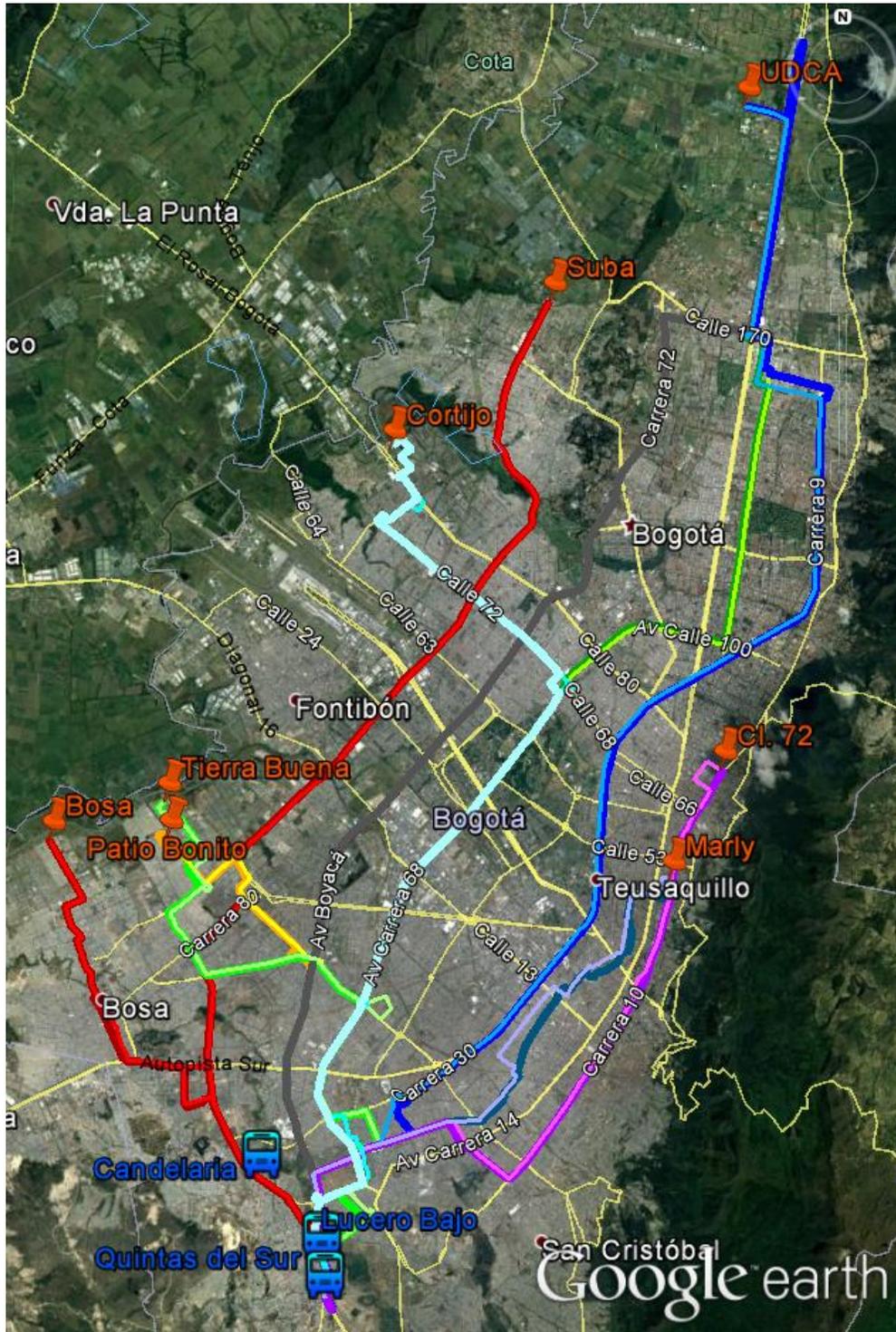
Para la codificación de estas rutas se utilizará el código R (Ruta) U (Urbana) y un consecutivo empezando en el 1, en la tabla 4.3 se puede observar el resumen de las rutas urbanas propuestas.

Rutas urbanas Lucero Bajo y Quintas del sur.

En la figura 4.9 se muestran las rutas urbanas propuestas para los puntos de integración de Lucero Bajo y Quintas del sur, estos dos puntos se revisan juntos, pues ambos están ubicados próximos a la avenida Boyacá y los usuarios de Lucero Bajo podrían usar todas las rutas de Quintas del sur, sin necesidad de realizar una transferencia adicional. Por esa razón de las 10 rutas que están propuestas para esta zona, sólo dos inician en Lucero Bajo y se dejan desde ahí por dos razones, la primera es porque con las otras 8 rutas ya quedaría cubierto el espacio para acomodar los buses en el punto de integración de Quintas, y la segunda, es que las vías principales y los puntos centrales que cubren estas dos rutas, ya estarían cubiertos por las otras ocho rutas. Aunque por practicidad se está mostrando el ejercicio de diseño de estas rutas por separado, para la realización del diseño se tuvo en cuenta las rutas que salen de los tres puntos de integración, ya que unas rutas se complementan con otras.

Con estas 10 rutas se están cubriendo 8 cabeceras diferentes (Bosa, Patio Bonito, Tierra Buena, Cortijo, Suba, Udca, calle 72 y Marly), y se están generando destinos hacia 6 zonas (Bosa, calle 80, Kennedy, Suba Centro, Suba oriental y Zona Neutra), con estas rutas, más las que inician en el punto de integración candelaria, y la rutas que se van a dejar tal cual como esta en el SITP (624, 10-12 y 16), se estaría garantizando el cubrimiento hacia todas las zonas del SITP que estaban cubiertas en el diseño operacional original.

Figura 4.9 Rutas Urbanas Lucero Bajo y Quintas del Sur.



Fuente: Elaboración Propia. Imagen: Google earth.

Para el caso de los puntos de integración de Lucero Bajo y Quintas del Sur de la siguiente manera se estaría dando cubrimiento a las avenidas principales de Bogotá:

- Una ruta que después de su inicio pasa por el punto de integración de Candelaria, tomando la avenida Villavicencio hasta la avenida Ciudad de Cali y terminando su recorrido en Suba.
- Una ruta por la avenida Villavicencio que también pasa por Candelaria, hasta la autopista sur y luego ingresa a la zona de Bosa.
- Por la avenida Boyacá van dos rutas, una hasta la calle 26 Sur, que se dirige a la cabecera de Patio Bonito, y otra que la atraviesa por completo hasta la calle 170, sube a la autopista norte y llega hasta UDCA.

Tabla 4.3 Rutas Urbanas nuevo Esquema Operacional.

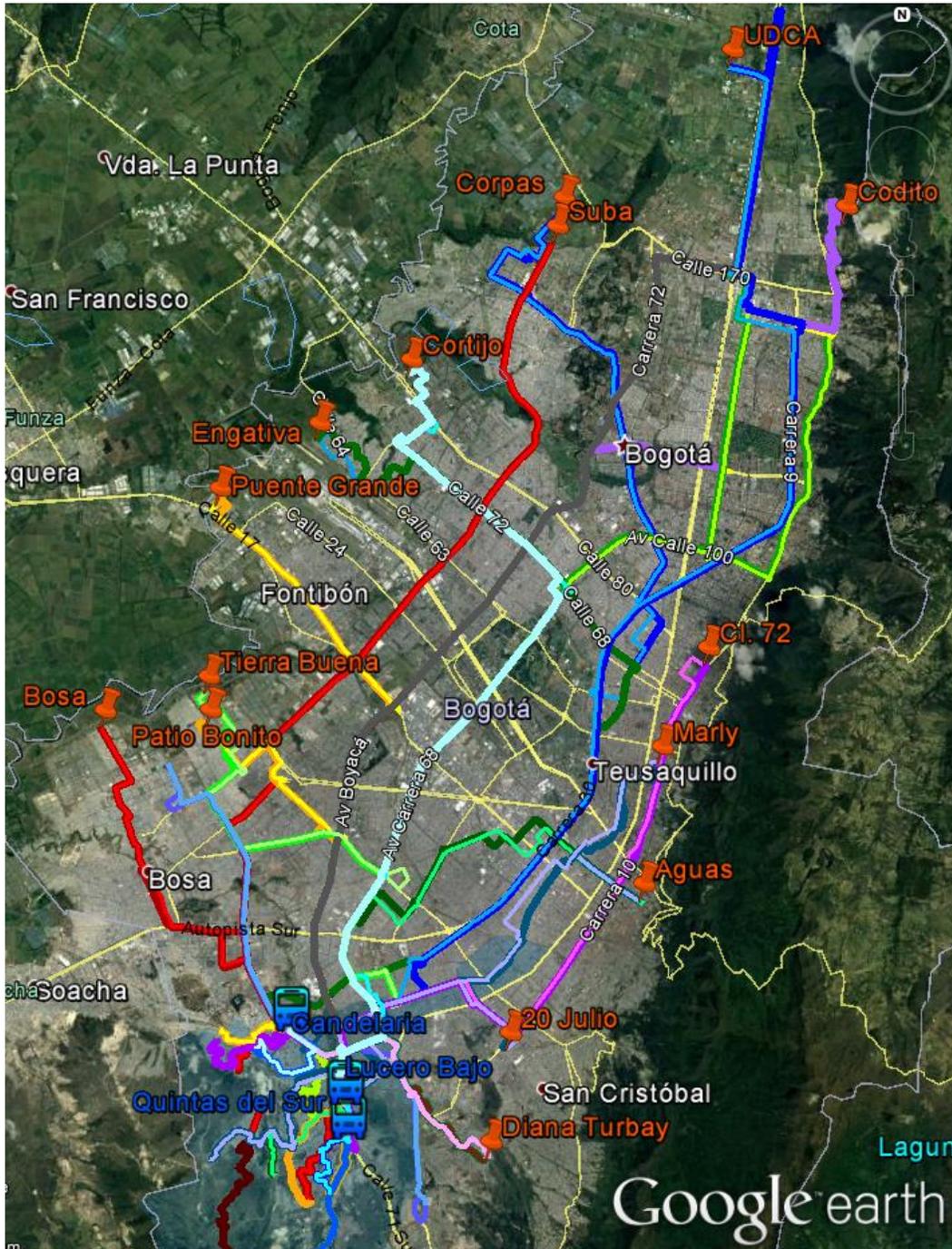
| Código | Origen | Destino | Avenida Principal 1 | Avenida Principal 2 |
|--------|-----------------|---------------|---------------------|---------------------|
| RU1 | Candelaria | Aguas | Cr. 24 | Cl. 19 |
| RU2 | Candelaria | Engativa | Cr. 30 | Cl. 68 |
| RU3 | Candelaria | Suba | Cr. 30 | Av. Suba |
| RU4 | Candelaria | Códito | Av. 68 | Cl. 100 |
| RU5 | Candelaria | Aguas | Cr. 50 | Cl. 19 |
| RU6 | Candelaria | Códito | Av. Boyacá | Cl. 127 |
| RU7 | Candelaria | Puente Grande | Av. Boyacá | Cl. 13 |
| RU8 | Candelaria | Diana Turbay | Av. Villavicencio | Av. Caracas |
| RU9 | Quintas del Sur | Calle 72 | Cr. 10 | Cr. 7 |
| RU10 | Quintas del Sur | Marly | Cr. 24 | Cr. 17 |
| RU11 | Quintas del Sur | Udca | Cr. 30 | Cr. 9 |
| RU12 | Quintas del Sur | Udca | Av. 68 | Cr. 19 |
| RU13 | Quintas del Sur | Udca | Av. Boyacá | Cl. 170 |
| RU14 | Quintas del Sur | Patio Bonito | Av. Boyacá | Cl. 26 Sur |
| RU15 | Quintas del Sur | Suba | Av. Villavicencio | Av. Cali |
| RU16 | Quintas del Sur | Bosa | Av. Villavicencio | Autosur |
| RU17 | Lucero Bajo | Cortijo | Av. 68 | Cl. 72 |
| RU18 | Lucero Bajo | Tierra Buena | Av. 68 | Cl. 26 Sur |

Fuente: Elaboración Propia.

- Por la avenida 68 pasan 3 rutas, una sólo va hasta la calle 26 Sur y baja a la zona de Kennedy hasta la cabecera llamada Tierra Buena, otra va hasta la calle 72, por donde baja y llega a la zona del Cortijo, y la última que cubre toda la avenida hasta la calle 100 y luego toma la avenida 19 hasta llegar a la 170 para tomar la autopista hasta UDCA.

- Por la carrera 30 se tiene una ruta adicional a la SE14, que la cubre completamente hasta la carrera 9, toma esta vía y luego sale a la autopista a la altura de la calle 170, y llega hasta UDCA.

Figura 4.10 Propuesta nuevo esquema operacional.



Fuente: Elaboración Propia. Imagen: Google earth.

Al centro de la ciudad se tienen dos rutas, una que va por la carrera 24 y llega hasta Marly y otra que toma la carrera 10 hasta la carrera 7 y toma esta vía hasta la calle 72, tal como lo hace actualmente la ruta T12. En la figura 4.10 se puede observar cómo quedaría el esquema completo con las 14 rutas colectoras, las 18 rutas urbanas y las 3 rutas que se mantendrían igual a como operan actualmente para un total de 35 rutas propuestas.

Con estas 35 rutas se está garantizando el cubrimiento en la zona de Ciudad Bolívar, y se dio prioridad en tener rutas directas a los puntos donde se genera la mayor atracción, de acuerdo a la caracterización de la zona, realizada en el punto 2.

4.3.5. Operación puntos de integración.

Cómo ya se realizó la revisión de las rutas que van a operar en cada uno de los puntos de integración, ahora es importante revisar cuál sería la logística en cada uno de esos puntos, teniendo en cuenta la cantidad y el tipo de rutas que van a operar, para poder tener una propuesta que se pueda implementar en la realidad. A continuación se realiza la propuesta operacional para cada uno de esos puntos de integración.

4.3.5.1. Zona de integración: Quintas del sur.

Cómo se revisó en el punto 4.3.4 en Quintas del sur van a operar 4 rutas colectoras y 8 rutas urbanas, en la figura 4.11 se puede observar el espacio asignado para cada uno de los paraderos y cómo funciona la entrada y salida y rutas, este punto tiene la característica que queda justo en frente del patio donde actualmente se guarda la mayor cantidad de flota que opera en Ciudad Bolívar² y es una ventaja porque la distancia que tendrán que recorrer los buses para iniciar operación va a ser mínima y adicionalmente el Patio servirá para que los buses estacionen cuando tienen programados tiempos de parada.

Para los paraderos de las rutas Urbanas, las que en su mayoría tendrán que ser operadas por buses tipo padrón, los cuales tienen una longitud de 12 +/- 0.5 metros y capacidad para transportar entre 80 y 100 pasajeros (Transmilenio, 2009), se tiene un espacio total de 115 metros³, lo cual quiere

² Dato suministrado por el operador zonal SUMA que opera en la zona de Ciudad Bolívar.

³ Distancia medida con Google Earth, al igual que el resto de distancias colocadas en el punto 4.5

decir que se tendría un espacio de 14,38 metros para cada una de las 8 rutas urbanas que pararán ahí, espacio suficiente para parquear un bus padrón y adicionalmente salir y entrar del punto de parqueo. En cuanto al espacio para las rutas colectoras, se cuentan con 58 metros para las cuatro rutas, se tendría 14,5 metros de espacio para el parqueo de cada ruta y teniendo en cuenta que la mayoría de rutas colectoras operarán con buses más pequeños (Busetones, busetas o microbuses), tampoco se presentaría un problema de espacio.

Figura 4.11 Punto de integración: Quintas del sur.



Fuente: Elaboración Propia. Imagen: Google earth.

4.3.5.2. Zona de integración: Lucero Bajo.

En esta zona van a operar 4 rutas colectoras y 10 rutas urbanas de las cuales sólo 2 tienen su inicio en este punto, las otras 8 inician en Quintas del sur. En la figura 4.12 se muestra la distribución de espacios propuesta para este punto de integración.

Se tiene un espacio propuesto de 38 metros para las rutas colectoras, en caso de tener un paradero para cada ruta, se tendría un espacio de 9,5 metros, lo cual sería un espacio suficiente si todas las rutas se operarían con máximo 7,5 metros de longitud, sin embargo es posible que se necesiten rutas con buses de mayor tamaño, por esa razón será necesario tener por lo menos dos rutas funcionando en un mismo paradero, con lo cual el espacio por paradero sería de 12.66 metros, las rutas que operarían en el mismo paradero tendrían que ser las de menor demanda, para evitar las congestiones, en la figura 4.9 se describen las vías de ingreso y salida de las rutas colectoras.

En cuanto a las rutas urbanas, todas van a operar sobre la avenida Boyacá. En el sentido norte sur (N-S), se cuenta con dos espacios separados para los paraderos, cada uno con una distancia de 74 metros, lo que permite tener 5 paraderos por espacio cada uno de 14,8 metros, espacio suficiente para la operación de buses padrones de 12 metros de largo, las dos rutas que tienen inicio en esta cabecera tendrían que tener como paradero de inicio el que se encuentra más al sur de los dos paraderos en el sentido N-S, y no habría necesidad de que pararan en el espacio asignado que se encuentra al otro costado de la vía. Teniendo en cuenta lo anterior, en el espacio que está en el sentido S-N sólo pararían las 8 rutas que inician en la zona de Quintas del sur, y se tendría un espacio de 14 metros para el paradero de cada ruta. Es importante mencionar que con este esquema sería necesario que los usuarios que necesiten tomar alguna de las 8 rutas que inicia en Quintas del sur, tendrá que pasar el puente peatonal.

Dependiendo de la demanda que se tenga en el punto de integración de Quintas, es posible que se tengan que programar algunos despachos de las rutas urbanas que inician en ese punto, para que inician en la zona de Lucero Bajo, esto es una práctica que ya se realiza en el SITP, y más comúnmente en las rutas programadas del sistema troncal de Transmilenio.

Figura 4.12 Punto de integración: Lucero Bajo.



Fuente: Elaboración Propia. Imagen: Google earth.

4.3.5.3. Zona de Integración: Candelaria.

Este punto de integración se debe adecuar para prestar el servicio de 6 rutas colectoras y 8 rutas urbanas, en este caso, se dispone de un amplio espacio sobre la avenida Villavicencio que es utilizado actualmente como paradero del SITP, se deben ubicar estratégicamente los paraderos, teniendo en cuenta ambos costados de la vía, ya que existe un paso peatonal en el punto que va a facilitar la movilidad de los usuarios entre los dos costados. En la figura 4.13 se puede observar la distribución de los espacios.

Figura 4.13 Punto de integración: Candelaria.

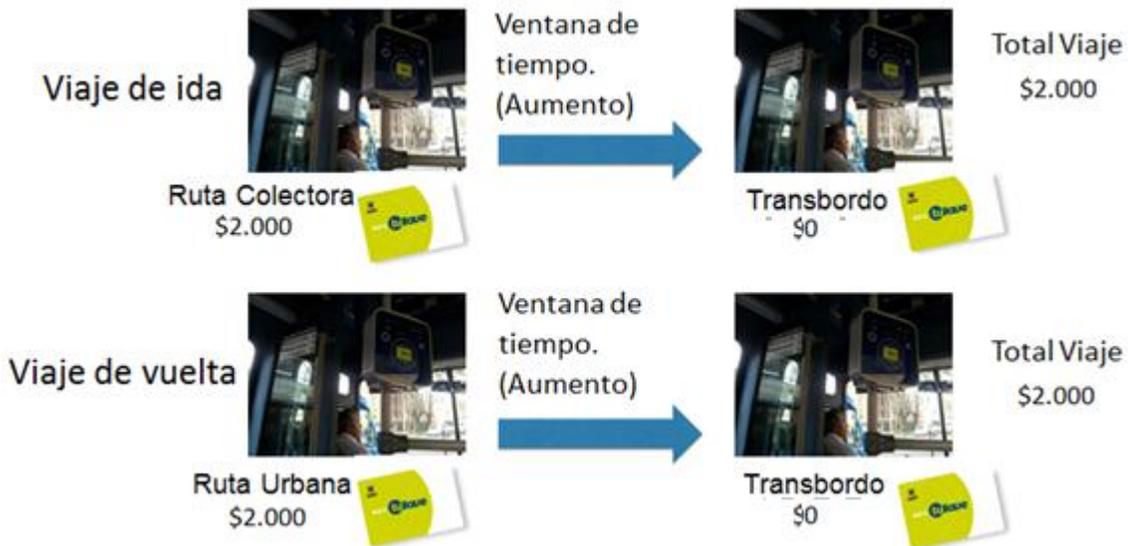


4.3.6. Tarifa

Aunque el objetivo principal de este trabajo es el diseño del esquema operacional, es necesario revisar otras variables asociadas que van a tener algún cambio, ya que podrían afectar de alguna manera la viabilidad del proyecto, una de esas variables es el tema tarifario. Dado que en el esquema propuesto se está asumiendo por lo menos una transferencia para los usuarios que vayan de la zona de Ciudad Bolívar a otra zona de la ciudad, es necesario plantear un esquema tarifario que no afecte al usuario, ni el recaudo actual del sistema.

Con el sistema tarifario que empezó a aplicar desde el 1 de Abril de 2017, se solucionó el problema de tarifa que suponía el nuevo esquema propuesto, pues con el nuevo esquema no tiene costo la transferencia y se aumentó la ventana de tiempo que tiene el usuario para poder realizar dicha transferencia.

Figura 4.14. Ejemplo Tarifa actual.



Fuente: Elaboración Propia.

5. Parametrización asignación

En Visum se pueden realizar tres tipos de asignación:

Asignación basada en el sistema de transporte: En este tipo de asignación el ejercicio se basa simplemente en las matrices de demanda pero sin definir datos de las rutas y sus itinerarios (PTV Planing Transport, 2016), es un ejercicio que permite definir los corredores más atractivos para los pasajeros sin estar restringidos a un sistema de rutas existente, es un ejercicio similar a hacer una asignación de transporte privado, utilizando una matriz origen destino de transporte público. Ejercicio que se realizó para el presente trabajo y está descrito en el numeral 4.2.

Asignación basada en tablas horario: Este modelo permite planear de forma detallada temas como transferencias y conexiones complejas, especialmente cuando los intervalos de servicio son largos. Permite modelar de forma realista diversos efectos, como los tiempos de espera inicial y de transferencia, y optimizar la operación en centros de transferencia modal (PTV Planing Transport, 2016). Las tarifas pueden ser utilizadas como elementos de contrapeso contra intervalos o itinerarios. Para poder realizar este tipo de asignación es necesario tener las tablas horario de las rutas (Detalle de los itinerarios de las rutas), y el resultado del ejercicio va a estar atado a la información de esas tablas horarios, por esa razón, para el ejercicio que se quiere realizar en este trabajo este tipo de asignación no es el indicado, ya que como se está proponiendo un nuevo esquema operacional, no se tienen la información de los itinerarios de las rutas. Sería un ejercicio interesante, la construcción de esas tablas horarios una vez se tenga el resultado de la asignación del nuevo esquema operacional.

Asignación basada en intervalos de paso: Se utiliza principalmente para estimar la demanda de sistemas con intervalos de servicio cortos donde la coordinación de tablas horario no es un tema prioritario. Permite tener en cuenta los precios de la tarifa y la frecuencia promedio de paso (PTV Planing Transport, 2016). Con este tipo de asignación se pueden realizar varios ejercicios, como por ejemplo determinar si los pasajeros prefieren un sistema BRT a mayor costo que es más rápido, o un sistema como el SITP a un menor costo y menor velocidad. Este tipo de asignación se utiliza comúnmente para el análisis de impacto de escenarios de planificación a largo plazo, que es el caso del presente trabajo y será el tipo de asignación que se va a utilizar para realizar la comparación

entre la propuesta del nuevo esquema operacional que se planteó en el numeral 4.3, y el esquema actual.

5.1. Asignación basada en intervalos de paso.

La asignación se va a realizar para el período de hora pico AM en la zona de ciudad Bolívar, la razón es que como se analizó en el numeral 2.4 es el pico más alto de viajes que se presenta en la zona y por ende es el que se debe utilizar para el diseño, la hora pico que se encontró de acuerdo a la gráfica 2.9 es de las 6 a las 7 de la mañana, y es la franja horario que se tuvo en cuenta para la construcción de la matriz origen destino.

En Visum, con este método de asignación se puede asignar un intervalo de paso por ruta, dejar el mismo para todas las rutas, o no dejar un intervalo establecido con lo cual no se estaría limitado la capacidad, ni la frecuencia de cada una de las rutas. Para el presente trabajo, se va a asignar un intervalo para cada uno de los sistemas que operan actualmente en la ciudad de Bogotá (Transmilenio, Alimentación, Zonal, TPC), no se realiza el ajuste por ruta, ya que para el nuevo esquema no se contaría con la información necesaria, y la idea es poder realizar una comparación de los dos sistemas en las mismas condiciones, realizando sólo el ajuste que se obtenga como resultado de las pruebas en vía.

5.2. Matriz origen destino.

Para la construcción de la matriz origen destino se utilizaron los datos de la encuesta de movilidad realizada en 2011 en la ciudad de Bogotá y se desarrolló el modelo de los 4 pasos descrito en el libro de Ortuzar and Willumzen (2011). Para este caso se decidió separar desde el comienzo los viajes de transporte público (Troncal, Alimentación y Transporte público colectivo tradicional) y construir una matriz origen destino del 2011 y proyectarla a 2016.

En la figura 5.1 se puede observar cómo ha sido la evolución de viajes en el transporte público desde el 2011 al 2015 en la ciudad de Bogotá, el total de viajes no ha tenido grandes variaciones, lo que ha cambiado es el medio de transporte. Desde 2013 con la implementación del componente

zonal del Sistema Integrado de Transporte Público (SITP), se han disminuido gradualmente los viajes en el transporte público colectivo tradicional y han aumentado los viajes en el componente zonal del SITP. El sistema troncal de Transmilenio en el cual están incluidos los viajes en el sistema de alimentación, ha tenido un incremento gradual al pasar de los años. Si se compara porcentualmente el total de viajes del transporte público en Bogotá en el año 2015 con el 2011, se tiene que está por debajo en un 7.9%, y teniendo en cuenta que la tendencia es que para 2016 haya un pequeño aumento, ese porcentaje será menor.

Figura 5.1 Pasajeros movilizados en Transporte Público en la ciudad de Bogotá.

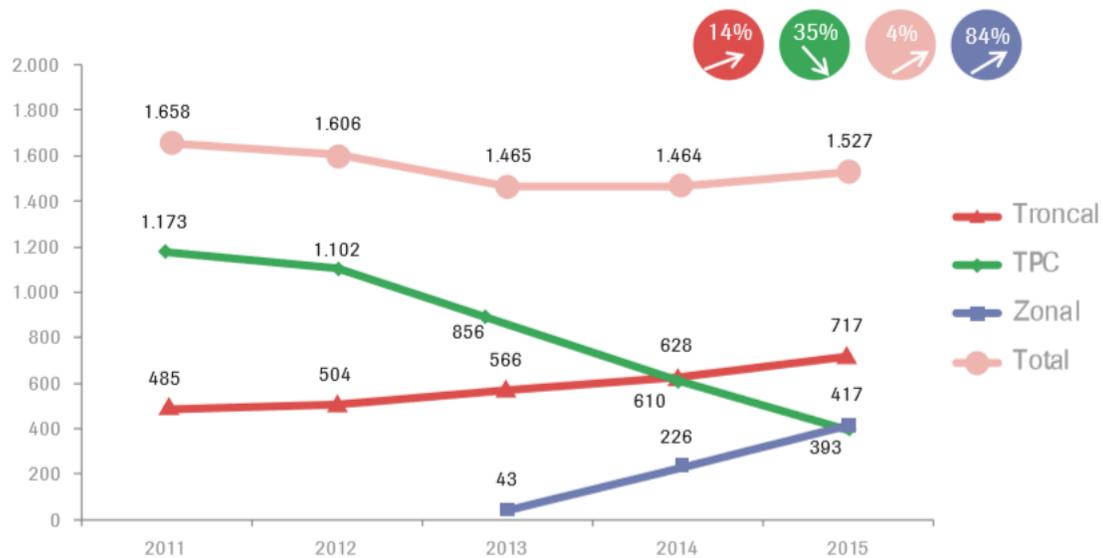


Figura 5.1. Reporte Anual de movilidad (2015). Por Cámara de comercio de Bogotá y Universidad de los Andes.

Teniendo en cuenta lo anterior, la matriz de viajes de transporte público de Bogotá de 2016 debe ser similar en magnitud a la del 2011, por ello, para la proyección de los vectores de generación y atracción se limitará el valor proyectado a un 10%, con lo cual se va a garantizar que los datos estén ajustados.

Para la proyección se utilizaron los datos de población, estudio y trabajo por UPZ que se encuentran disponibles en la página de la secretaria distrital de planeación. Se realizaron las regresiones lineales utilizando las distintas mezclas entre estas tres variables, en la tabla 5.1 se pueden observar los resultados obtenidos. El mejor coeficiente de correlación se obtuvo al proyectar el vector de

atracción utilizando las tres variables, y fue el que se utilizó para realizar las proyecciones. (Anexo A. Construcción matriz OD transporte público).

Tabla 5.1. Regresiones Lineales.

| Variable | Coeficiente R2 | | |
|---------------|----------------|-----------|-------------|
| | Generación | Atracción | GA Promedio |
| Población (P) | 0,662 | -0,002 | 0,219 |
| Trabajo (T) | -0,009 | 0,677 | 0,381 |
| Estudio (E) | 0,070 | 0,544 | 0,551 |
| PE | 0,661 | 0,638 | 0,621 |
| TE | 0,140 | 0,728 | 0,567 |
| PT | 0,659 | 0,680 | 0,609 |
| PET | 0,660 | 0,802 | 0,675 |

Fuente: Elaboración propia

Con este ejercicio se obtuvieron los vectores de generación y atracción de transporte público proyectados a 2016 por UPZ, y después se realizó la conversión a la zonificación ZAT, teniendo en cuenta que esta última es la que se va a utilizar para realizar las simulaciones.

Para realizar la distribución de viajes y obtener la matriz origen destino de viajes de transporte público de 2016, se utilizó el método de *Fratar*, fue necesario realizar 18 iteraciones para obtener unos datos con 3 dígitos de confiabilidad.

Para lograr obtener una mejor resolución de la matriz OD, se realizó un ajuste en los viajes realizados desde la zona de Ciudad Bolívar, teniendo en cuenta que se está evaluando la hora pico de la mañana, utilizando una matriz OD entregada por TM que se realizó utilizando los datos de los ingresos en el sistema zonal y troncal del SITP, con el ejercicio no se modificó la magnitud de viajes de ninguna de las zonas, lo que se hizo fue utilizar esa matriz para la distribución de los viajes, al realizar la simulación con estos datos, se encontró que la cantidad de usuarios transportados por ruta se acercaba más a la realidad de las rutas que operan en la zona de Ciudad Bolívar.

En Bogotá se realizó una encuesta de movilidad en el año 2015, la cual no se utilizó debido a que para ese año no se realizó un ejercicio de interceptación que si se hizo en el año 2011, el cual permite obtener una representatividad estadística mayor al momento de generar la matriz origen destino, sin embargo, como ejercicio se puede realizar una comparación de los datos obtenidos en la matriz proyectada, con los datos que se obtienen de la encuesta, dichas comparaciones se hicieron

para los datos generales, que aunque son datos de años distintos, su magnitud debe ser similar, el ejercicio se muestra en la tabla 5.2.

Tabla 5.2. Comparación datos proyectados con encuesta 2015.

| | Encuesta 2015 | Matriz Proyectada 2016 | Diferencia | % Diferencia |
|---|---------------|------------------------|------------|--------------|
| Total Viajes Realizados TP HP | 587.415 | 577.162 | -10.253 | -1,78% |
| Viajes TP con origen Ciudad Bolívar HP | 44.705 | 48.574 | 3.869 | 7,97% |
| Viajes TP con destino Ciudad Bolívar HP | 10.423 | 11.073 | 650 | 5,87% |
| Viajes con origen o destino CB HP | 55.128 | 59.647 | 4.519 | 7,58% |

Fuente: Elaboración propia, datos encuesta movilidad 2015 Secretaria distrital de movilidad.

Este ejercicio muestra que al realizar la comparación del total de viajes de transporte público en hora pico para la ciudad de Bogotá según los datos que se proyectaron, para el año 2016 habría una reducción de un 1.78% en dichos viajes con respecto al 2015, esto muestra que en magnitud ambas matrices son similares, y aunque no es posible afirmar que esa reducción se haya dado en la realidad, si genera un alto grado de confiabilidad la proyección realizada. Al revisar puntualmente los viajes en la zona de Ciudad Bolívar, sí se evidencia un aumento, que es un poco mayor en los viajes que tienen origen en Ciudad Bolívar (7.97%), esto es coherente con el ejercicio de proyección que se realizó, pues el presente trabajo se ha centrado en el estudio de esta zona, y ese incremento en el número de viajes se puede explicar principalmente con dos razones: La primera es que efectivamente en Ciudad Bolívar hubo un incremento en los viajes de transporte público realizados en hora pico, y la segunda es que para la proyección, se tuvieron en cuenta datos reales de ascensos para el caso de la zona de Ciudad Bolívar.

5.3. Parámetros procedimiento de asignación.

5.3.1. Costo y percepción del tiempo.

Como se mencionó en el apartado 5.1, se va a utilizar la asignación basada en intervalos para realizar la asignación. Para este tipo de asignación, Visum permite ajustar el costo generalizado de viaje mediante la siguiente fórmula:

$$IMP = PJT \cdot FacPJT + NumberFarePoints \text{ or } Fare \cdot FacFare$$

En donde IMP, es la impedancia o costo generalizado de viaje, PJT es el tiempo percibido de viaje en minutos, FactPJT es el factor de ajuste del tiempo percibido, Fare es la tarifa monetaria y FacFare, es un factor de ajuste de la tarifa.

Este modelo de asignación se va a correr todo en el mismo paso, para utilizar una misma matriz origen destino para todos los modos de transporte público y contar con toda la demanda, y que sea mediante el procedimiento de asignación que se establezca la demanda de cada modo.

Para ello, en el caso del PJT se parametrizó un factor de ajuste para el tiempo de caminata (TCAM), otro para el tiempo de espera en el origen (TESP) y otro para el tiempo de transferencia (TTRANSB), asumiendo un factor de 1 para el tiempo dentro del vehículo (TVEH), específicamente para la zona de Ciudad Bolívar. Como base se utilizaron los datos que se muestran en la tabla 5.3, que son de un estudio de percepción del tiempo realizado en 2016 para una ciudad Colombiana y su área metropolitana, en el cual se obtuvieron los datos por estrato.

Tabla 5.3. Estudio Percepción del Tiempo.

| ESTRATO | TCAM | TESP | TVEH | TTRANSB |
|-----------|------|------|------|---------|
| 1 y 2 | 1,25 | 1,37 | 1 | 7,35 |
| 3 y 4 | 1,89 | 1,56 | 1 | 5,16 |
| Estrato 5 | 2,31 | 1,95 | 1 | 3,12 |

Nota: Recuperado de Estimación de los factores de la penalización del tiempo en la función del costo generalizado en Bucaramanga y su área Metropolitana. 2016. Por. H Porras, S Cote.

Teniendo en cuenta la caracterización de la demanda de la zona de Ciudad Bolívar (CB) descrita en el capítulo 2, de donde se puede obtener porcentualmente por estrato la población de la zona de Ciudad Bolívar y aplicar los factores mostrados en la tabla 5.3, es posible calcular la penalización del tiempo específicamente para esta zona, ejercicio que se muestra en la tabla 5.4. Para este ejercicio se utilizaron los datos de la ciudad de Bucaramanga, debido a que es el ejercicio de percepción del tiempo por estrato, más reciente y completo que hay en Colombia, y aunque es una ciudad de menor tamaño y población que Bogotá, para el caso específico de estudio del presente trabajo, es posible realizar la comparación con la zona de Ciudad Bolívar teniendo en cuenta el tamaño específico de esta zona y que la población es en su mayoría es de estratos 1 y 2.

Tabla 5.4. Factores de penalización del tiempo zona Ciudad Bolívar.

| ESTRATO | POBLACIÓN CB | Porcentaje Población | TCAM | TESP | TVEH | TTRANSB |
|--------------|----------------|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1 y 2 | 615.361 | 96,2% | 1,202 | 1,317 | 0,962 | 7,068 |
| 3 y 4 | 24.574 | 3,8% | 0,073 | 0,060 | 0,038 | 0,198 |
| Estrato 5 | 2 | 0,0% | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| TOTAL | 639.937 | 100,0% | 1,27 | 1,38 | 1,00 | 7,27 |

Fuente: Elaboración Propia.

Con este ejercicio se obtiene los factores para PJT, ahora es necesario ajustar la tarifa y los factores de costo del tiempo, para que la tarifa y el tiempo percibido de viaje estén en un mismo nivel.

Para ello, se utilizó el ejercicio de costo del tiempo realizado en la ciudad de Bogotá en el año 2011, ajustando los datos a 2016, el cual también se hizo por estrato, y se muestra en la tabla 5.5.

Tabla 5.5. Costo del tiempo Bogotá

| ESTRATO | Costo Tiempo (\$/min) |
|---------------|-----------------------|
| Estrato 1 | 25 |
| Estrato 2 | 51 |
| Estrato 3 | 76 |
| Estrato 4,5,6 | 135 |

Nota. Recuperado de Informe final de consultoría. Encuesta para movilidad Bogotá 2011. Por Steer Davis Glave, Centro Nacional de Consultoría.

Al igual que para los factores de tiempo, se calculó el costo de tiempo para la zona de Ciudad Bolívar, teniendo en cuenta la población por estrato en la zona, ejercicio que se muestra en la tabla 5.6. El dato encontrado (36.56), podría ser utilizado como el FacPJT, sin embargo, debido a que en Visum hay otras penalizaciones adicionales en la función PJT como el tiempo por cada transferencia que realiza el usuario. Se decidió tener en cuenta este factor en la tarifa y normalizar la función de costo generalizado con un costo de 1 peso por minuto, teniendo en cuenta en la tarifa el costo del tiempo, ejercicio que se muestra en el próximo apartado.

Tabla 5.6. Costo del tiempo zona Ciudad Bolívar.

| ESTRATO | POBLACIÓN CB | Porcentaje Población | Costo Tiempo (Pesos/min) |
|----------------|-------------------------|---------------------------------|---|
| Estrato 0 | 8105 | 59,2% | 14,81 |
| Estrato 1 | 370900 | | |
| Estrato 2 | 236356 | 36,9% | 18,84 |
| Estrato 3 | 24572 | 3,8% | 2,92 |
| Estrato 4,5,6 | 4 | 0,0% | 0,00 |
| TOTAL | 639937 | 100,0% | 36,56 |

Fuente: Elaboración Propia.

5.3.2. Parametrización tarifa.

Para ajustar la tarifa se utilizarán los datos que aplican en Bogotá desde el 1 de Abril de 2017, por las razones explicadas en el numeral 4.3.6., se van a ajustar esos datos teniendo en cuenta que el costo del tiempo para que la tarifa y el PJT queden a un mismo nivel, en la tabla 5.7 se muestra cómo quedaría parametrizada la tarifa para cada uno de los sistemas de transporte.

Tabla 5.7. Parametrización Tarifa.

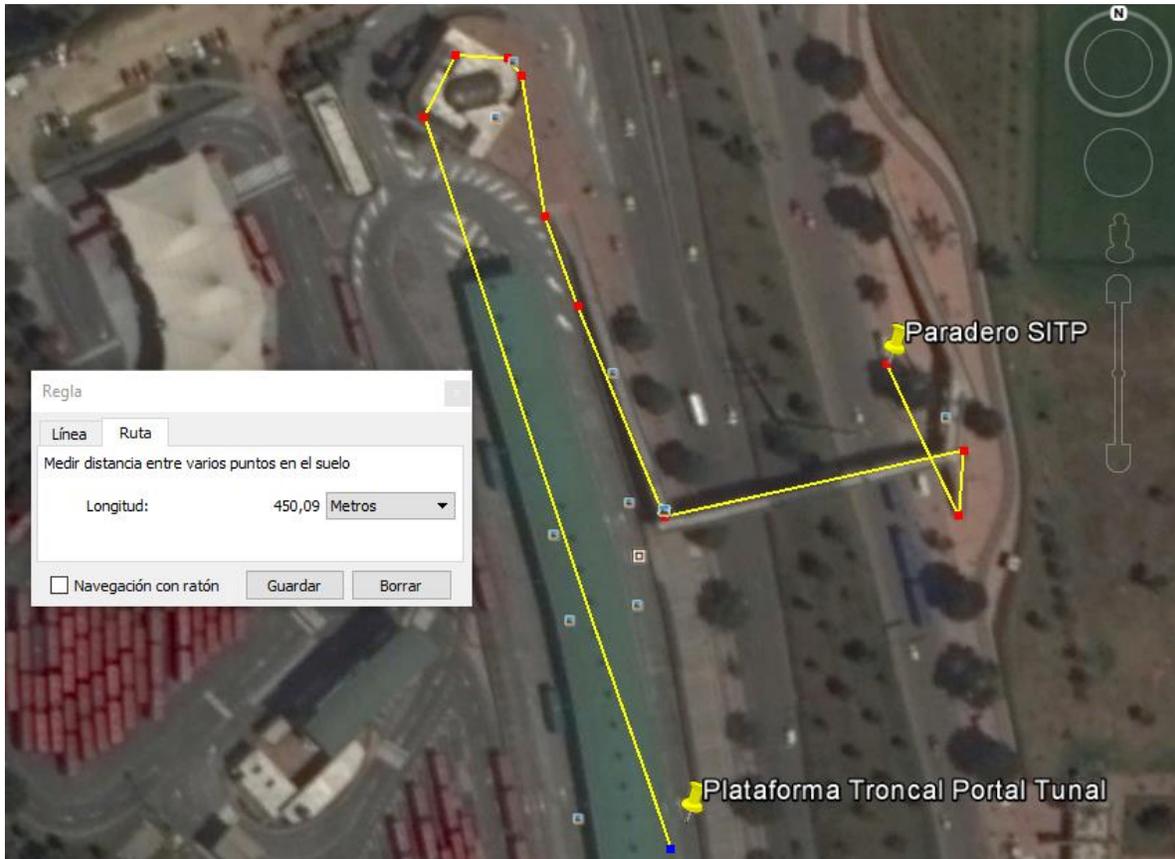
| SISTEMA | Tarifa Real | Tarifa Ajustada |
|------------------|--------------------|----------------------------|
| TM | 2.200 | 60,2 |
| SITP | 2.000 | 54,7 |
| SITP PROVISIONAL | 1.550 | 42,4 |
| ALIMENTADOR | 0 | 0,0 |

Fuente: Elaboración Propia.

Para el caso de las transferencias entre los sistemas, también se tendrá en cuenta la tarifa real que aplica desde esa misma fecha, sin embargo debido a que en la red los puntos de parada están parametrizados como un único punto, se utilizará la tarifa para penalizar el tiempo de caminata que debe realizar el usuario entre los portales y estaciones de Transmilenio a los paraderos del SITP y

las vías por las que transita el SITP Provisional, para dicho ejercicio se tomó como referencia la distancia que existe entre la plataforma del portal Tunal y el paradero del SITP que queda frente al portal. Se utilizó este trayecto como referencia, debido a que es el que tiene el mayor número de transferencias entre los dos sistemas en la zona de Ciudad Bolívar.

Figura 5.2. Medición distancia Paradero SITP a Plataforma Portal Tunal



Fuente: Elaboración Propia. Imagen: Google earth.

En la figura 5.2 se observa la medición que se realizó, la distancia aproximada de caminata es de 450 metros, teniendo en cuenta que la velocidad promedio de caminata es de 4 kilómetros por hora, y utilizando la fórmula de $t = d/v$, se obtiene:

$$t = 0.45 \text{ (km)} / 4 \text{ (km/h)} = 0.1125 \text{ (h)} > \text{Al pasarlo a minutos } t = 0.1125 \text{ (h)} * 60 = 6.75 \text{ (m)}.$$

Se realiza el ajuste con el factor de tiempo de caminata para la zona de Ciudad Bolívar, que se muestra en la tabla 5.4 y se obtiene:

$$\text{Tarifa ajustada transferencia TM} - (\text{SITP, SITP PROVISIONAL}) = 6.75 * 1.27 = 8.60$$

Este dato también se va a utilizar para cuando hay transferencia entre un bus alimentador y uno del SITP zonal, debido a que para poder implementar el escenario propuesto es necesario que los paraderos del SITP no coincidan con los de la Alimentación, para que no se genere mayor congestión en los paraderos, la distancia mínima de separación entre estos paraderos se asume como de 450 metros.

Adicionalmente, es necesario, teniendo en cuenta la realidad de la hora pico AM en la zona de Ciudad Bolívar, simular que los buses SITP que salen de otras zonas van llenos y es poco probable que un usuario de Ciudad Bolívar en la hora pico AM tome un bus alimentador para luego realizar la transferencia a uno del TPC (Esto ocurre más comúnmente en la hora valle), caso en el cual se sumó el costo de usar el sistema Transmilenio a esa transferencia. Teniendo en cuenta lo anterior, en la tabla 5.8, se muestra la parametrización de la tarifa de las transferencias.

Tabla 5.8. Parametrización Tarifa Transferencias.

| SISTEMA ORIGEN | SISTEMA DESTINO | Tarifa Real | Tarifa Ajustada |
|------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| TM | TM | 0 | 0,0 |
| TM | SITP | 0 + Caminata | 8,6 |
| TM | SITP PROVISIONAL | 1550 +Caminata | 51,0 |
| TM | ALIMENTADOR | 0 | 0,0 |
| SITP | TM | 200 + Caminata | 14,1 |
| SITP | SITP | 0 | 0,0 |
| SITP | SITP PROVISIONAL | 1.550 | 42,4 |
| SITP | ALIMENTADOR | Caminata | 8,6 |
| SITP PROVISIONAL | TM | 2200 +Caminata | 68,8 |
| SITP PROVISIONAL | SITP | 2.000 | 54,7 |
| SITP PROVISIONAL | SITP PROVISIONAL | 1.550 | 42,4 |
| SITP PROVISIONAL | ALIMENTADOR | 2200 TM | 60,2 |
| ALIMENTADOR | TM | 2.200 | 60,2 |
| ALIMENTADOR | SITP | 2000 + Caminata | 63,3 |
| ALIMENTADOR | SITP PROVISIONAL | 2200TM + 1550 | 102,6 |
| ALIMENTADOR | ALIMENTADOR | 2200TM | 60,2 |

Fuente: Elaboración Propia.

5.3.3. Parametrización tiempos de recorrido.

Como se está trabajando una asignación sólo de transporte público, lo que interesa en este punto es ajustar las velocidad de las rutas que se tienen parametrizadas, para ello, Visum permite colocar un perfil de tiempo para cada ruta, y esa es la manera como se va a hacer este paso.

Para determinar la velocidad de las rutas, se utilizó la información de la velocidad programada en la hora pico AM, para un día hábil del mes de noviembre de 2016, para el caso de las rutas del nuevo esquema operacional, se utilizó la misma velocidad de las rutas zonales, teniendo en cuenta que operarán por las mismas vías, y no se cuenta con información para calcular la velocidad de esas rutas, y la idea es poder comparar los dos escenarios en igualdad de condiciones.

5.3.4. Parametrización nivel de información al usuario y algoritmo de selección.

De acuerdo al manual de Visum, la asignación basada en intervalos de paso, permite establecer un nivel de información del sistema para el usuario. Para el caso de los sistemas de transporte público en la ciudad de Bogotá, el usuario normalmente sólo cuenta con la información de los trazados y paraderos de las rutas, pero no con la información detallada de los horarios de salida de las rutas, ni de las horas en las que pasan por cada uno de los paraderos. Y así fue como se parametrizó en Visum utilizando la misma condición en el caso de ambos esquemas.

En cuanto al algoritmo de selección utilizado, al parametrizar el nivel de información al usuario, con ninguna información de horarios, Visum sólo permite utilizar el modelo de elección discreta “Logit”, este modelo es el ideal para el ejercicio, pues de acuerdo al manual de Visum, puede aproximar cualquier modelo de utilidad aleatoria, con el cual se trata de representar el comportamiento de un individuo que debe realizar una elección entre un conjunto de alternativas (SITP, TPC, Transmilenio), para realizar un desplazamiento. El enfoque habitual es el de la maximización de la utilidad aleatoria, en el que se parte de que el individuo escoge siempre la alternativa que le supone una mayor utilidad. En Visum el modelo Logit define la utilidad U , con la siguiente fórmula:

$$Utility U = e^{\beta R}$$

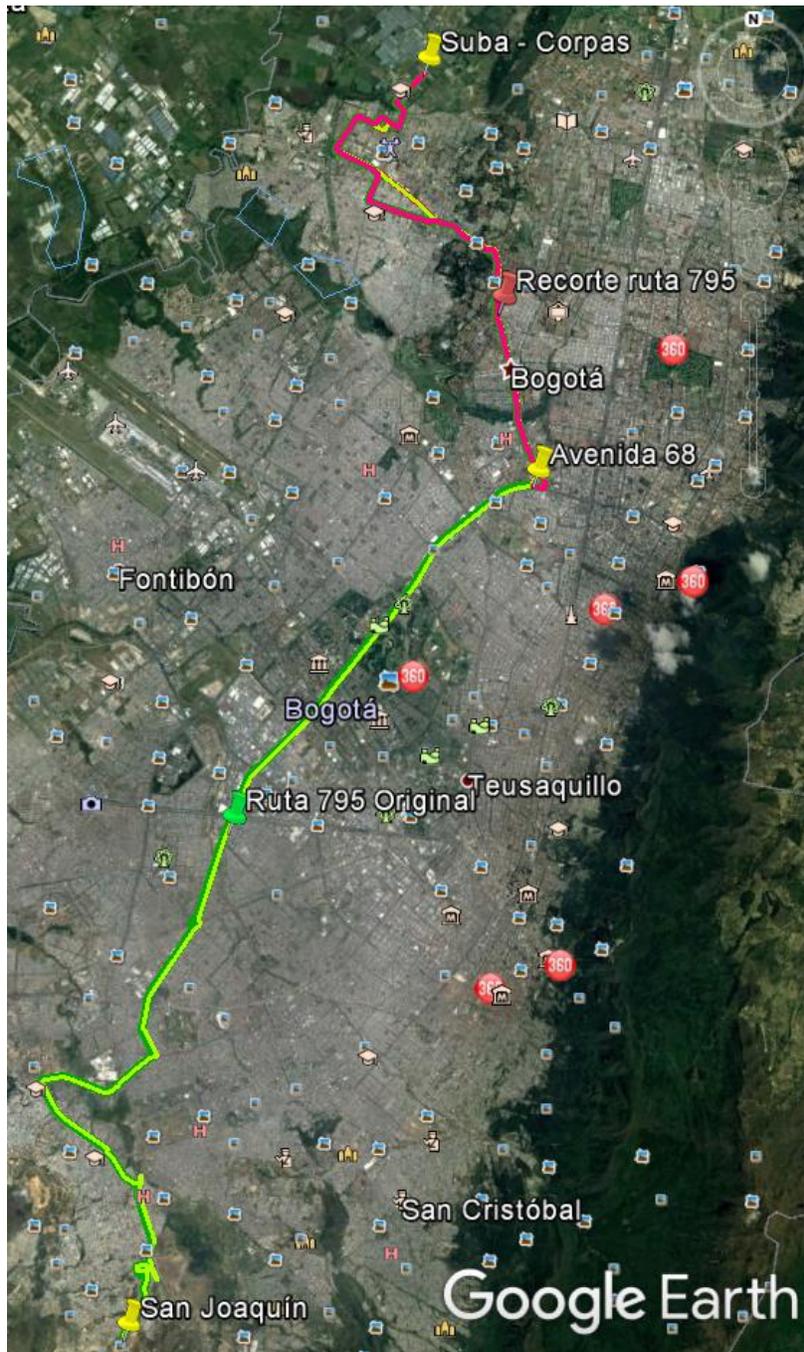
En donde R , es la impedancia o costo generalizado de viajes, el cual se definió en el numeral 5.3.1. y β es el coeficiente que refleja la valoración por parte del individuo de cada una de las variables definidas en la Impedancia. Calibrar un β para la ciudad de Bogotá es un ejercicio muy complejo y no es el objetivo del presente trabajo, por lo cual se definió utilizar el β que tiene Visum predeterminado que es de 0.25, que es coherente con los betas que fueron calculados en el ejercicio realizado en el año 2011 por la firma consultora Steer Davies & Glave.

6. Pruebas

Las pruebas se realizan para poder parametrizar el funcionamiento de las rutas colectoras del nuevo esquema operacional, para que el software Visum pueda calcular los tiempos de espera de los usuarios. Se realizaron varias propuestas a Transmilenio S.A. para poder realizar estas pruebas en rutas con origen en la zona de Ciudad Bolívar, sin embargo debido a que para que el esquema funcione se debe por lo menos implementar todas las rutas que llegan a un punto de integración y sólo hasta el 1 de Abril se solucionó el inconveniente que tenía el esquema propuesto con la tarifa. De las propuestas realizadas sólo se autorizó un ajuste en la ruta 795, ruta que tiene inicio en San Joaquín zona de Ciudad de Bolívar y termina en Suba Corpas, el ajuste propuesto para la ruta fue un recorte de la ruta en la zona Norte, dejando la ruta como una colectoras de la avenida 68, como se muestra en la figura 6.1, aunque lo ideal era tener una ruta colectoras en la zona de ciudad Bolívar, esta ruta sirve como prueba, para poder validar en cuanto al cumplimiento de lo que se programa, el comportamiento de una ruta al recortarla y operarla como colectoras.

La ruta comenzó a operar como colectoras a partir del 5 de Diciembre del 2016, razón por la cual para analizar los datos de demanda de la ruta completa, se tomaron los datos del último mes que operó en esas condiciones, Noviembre de 2016. Para la prueba se tomaron los datos de las validaciones reales de la ruta durante todo el mes y de los kilómetros que efectivamente recorrieron los buses. Para la obtención de la información, se utilizó el software que tienen implementados los buses del SITP, SAE (Sistema de Ayuda a la Explotación), El software SAE cuenta con un preciso sistema de predicción de tiempos que se retroalimenta de las posiciones GPS de los vehículos y afina con los datos en cada trayecto. Un sistema inteligente que permite el seguimiento en tiempo real del recorrido y determina la posición en ruta de cada vehículo, la información de los recorridos queda almacenada en una base de datos, y de ahí se tomó la información, que fue suministrada por la empresa SUMA S.A.S. para poder realizar el análisis.

Figura 6.1. Recorte ruta 795, para prueba.



Fuente: Elaboración Propia. Imagen: Google earth.

En cuanto a la información de la ruta colectora, para poder realizar la comparación, se utilizaron los datos del mes de marzo de 2017, se seleccionó ese mes, debido a que ya en marzo la ruta estaba más consolidada pues llevaba 3 meses operando, y se descartó el mes de abril porque ese mes se

presentó la semana santa y esos datos podrían afectar la información, debido a que el comportamiento de la ciudad esa semana es diferente.

En la tabla 6.1 se muestra la comparación de los datos de las dos configuraciones. De la cual se puede concluir que se redujo la longitud de la ruta en un 34%, se mejoró el intervalo a 9 minutos, debido a que en buses la reducción fue del 36.4%. Sin embargo el dato que interesa para la parametrización del modelo es la mejora que se obtuvo en el cumplimiento el cual pasó del 80.82% al 87.32%, lo cual indica una mejora en la frecuencia de paso de los buses y por ende una mejora en el intervalo de paso. Proporcionalmente se está mejorando en un 8.04% en el cumplimiento, teniendo en cuenta que la frecuencia teórica es igual a $60/\text{intervalo}$ (Ortuzar y Willumzen 2011), la frecuencia real sería ese valor multiplicado por el cumplimiento. Teniendo en cuenta lo anterior al igualar las fórmulas de frecuencia real de las rutas colectoras y las rutas zonales del SITP, y despejar el intervalo de paso de las rutas colectoras se obtiene la siguiente fórmula:

$$I_c (\text{Intervalo Colectora}) = I_z (\text{Intervalo Zonal}) / (1 + \% \text{Cumplimiento}) > I_c = I_z / 1.0804.$$

Tabla 6.1. Datos prueba ruta Colectora.

| Ruta | Longitud (Km) | Buses | Intervalo Programado Hora Pico (m) | Km Programado Mes | Km Ejecutados Mes | Cumplimiento (Km Ejec./ Km Prog.) |
|---------------|---------------|-------|------------------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------------------|
| Colectora 795 | 25,311 | 12 | 9 | 75.673,3 | 66.077,2 | 87,32% |
| Original 795 | 74,371 | 33 | 9,25 | 187.658,0 | 151.669,0 | 80,82% |

Fuente: Elaboración Propia. Datos: Validaciones ruta 795 SUMA, Meses de Noviembre de 2016 y Marzo de 2017.

Para obtener los intervalos del sistema Troncal, Alimentador y zonal, se utilizaron los datos programados para un día Hábil de una semana de demanda normal⁴ en la Ciudad de Bogotá, se tomaron específicamente los datos para la hora pico de estudio del presente trabajo (6 am a 7 am), de ese ejercicio y teniendo en cuenta la fórmula encontrada anteriormente para el intervalo de las rutas colectoras, se encontró el intervalo promedio para cada uno de los sistemas el cual se parametrizó en Visum y se muestra en la tabla 6.2.

⁴ Se hace referencia a la demanda para un día hábil sin que haya una estacionalidad en la demanda como por ejemplo vacaciones o semana santa.

Tabla 6.2. Datos Intervalo promedio por sistema.

| SISTEMA | Intervalo |
|------------------|------------------|
| Troncal | 0:05:00 |
| Alimentador | 0:06:00 |
| SITP Zonal | 0:10:00 |
| SITP Provisional | 0:10:00 |
| SITP Colectoras | 0:09:15 |

Fuente: Elaboración Propia.

Nótese que para el caso del SITP Provisional, se va a utilizar el mismo intervalo que para el sistema Zonal, la razón es que no se cuentan con datos confiables de este sistema y su funcionamiento y trazados de las rutas es similar al del SITP Zonal.

7. Resultados asignación

7.1. Revisión general asignación Bogotá.

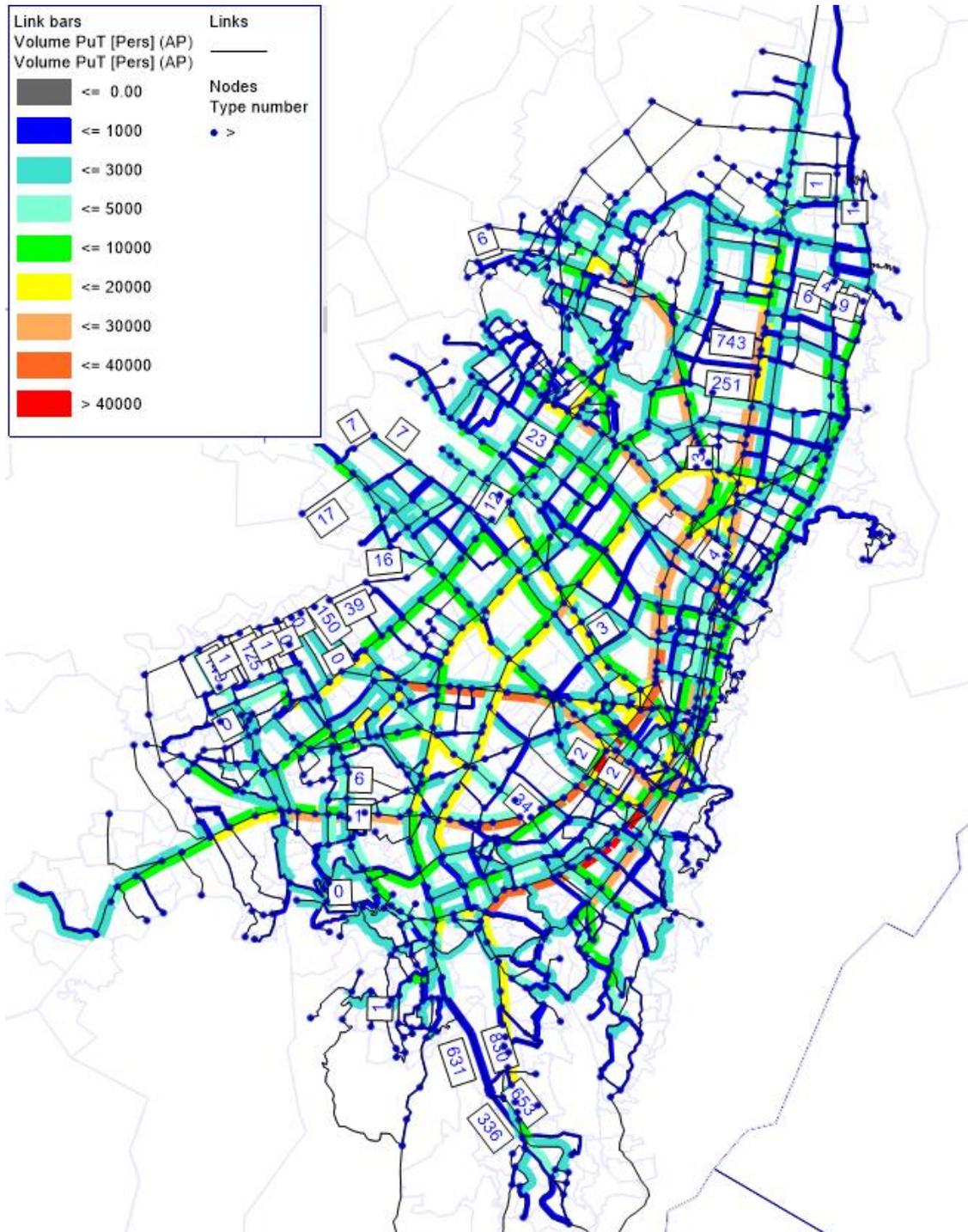
Con los datos de los capítulos 5 y 6, se parametrizó la asignación en Visum, para poder realizar la comparación entre los dos modelos en igualdad de condiciones y tener un resultado lo más ajustado posible a la realidad, se tuvieron en cuenta los 4 sistemas de transporte que se han venido trabajando (Troncal, alimentador, SITP zonal, SITP Provisional), se realizó un primer proceso de asignación con las rutas tal como estaban operando en noviembre de 2016, para calibrar el impacto de las transferencias entre el SITP Provisional y el SITP en la zona de Ciudad Bolívar. Después lo que se hizo fue simular las rutas que opera actualmente el SITP Provisional en Ciudad Bolívar como rutas zonales, ya que con el nuevo esquema propuesto se está cubriendo la totalidad de la zona de Ciudad Bolívar y lo que se pretende con el ejercicio es valorar los dos esquemas en igualdad de condiciones.

Para el ejercicio se tuvieron en cuenta todas las rutas de los sistemas alimentador y troncal de Transmilenio operativas en el mes de noviembre de 2016, así como todas las rutas del SITP zonal y Provisional de la zona de Ciudad Bolívar que operaban para esa misma fecha. En cuanto al resto de rutas de la ciudad de Bogotá, se tuvieron en cuenta las principales rutas del SITP zonal y provisional para garantizar la cobertura en todas las zonas de la ciudad, lo que quiere decir que el ejercicio sólo es válido para la zona de Ciudad Bolívar y toda la parametrización se hizo de acuerdo a eso. Para calibrar el modelo se utilizó la información real de ascensos que se tiene de las rutas que operan actualmente en el SITP.

A pesar de que el modelo no está ajustado para toda la ciudad, es interesante validar el resultado general de la asignación, esto teniendo en cuenta que en este ejercicio es como si toda la población de Bogotá, tuviera el mismo comportamiento de la población de la zona de Ciudad. En la figura 7.1, se muestra el resultado del ejercicio de asignación utilizando el esquema actual, como se puede observar las vías con mayor flujo son la carrera 30 y la avenida Caracas, como era de esperarse. Es interesante que en magnitud ambas sean similares, aunque en la realidad hay más personas que se mueven por la avenida Caracas, esto se presenta porque en el modelo no se limitó la capacidad de

las rutas, y teniendo en cuenta que los servicio por la 30 son más rápidos, se presenta este fenómeno.

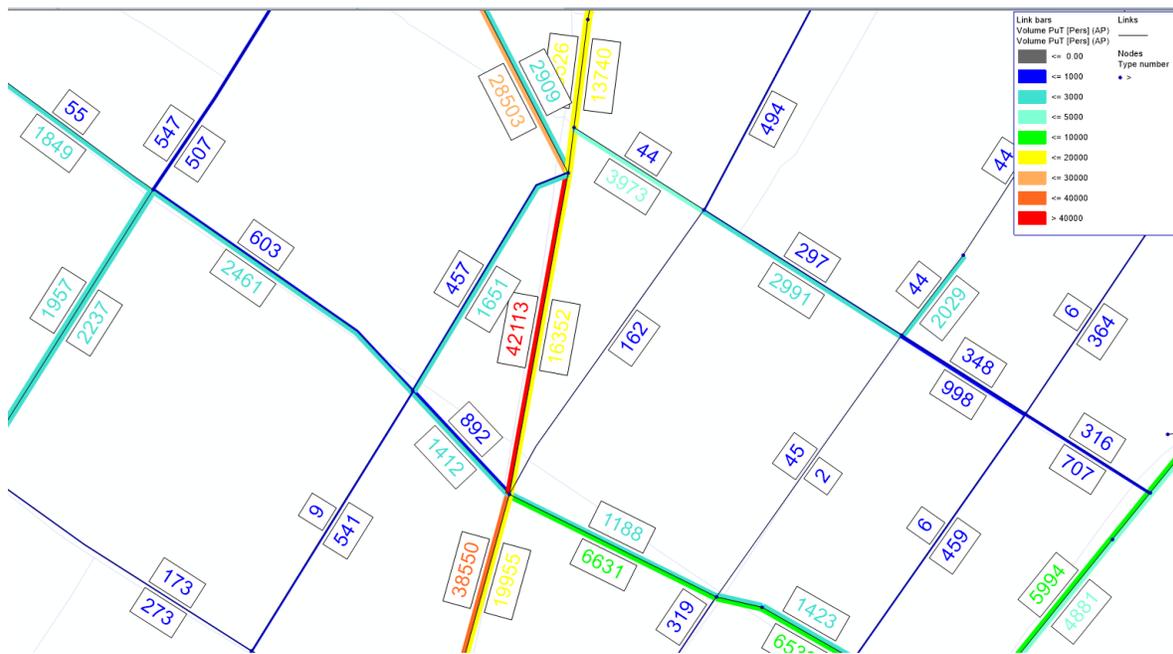
Figura 7.1. Resultado asignación modelo actual Bogotá.



Fuente: Elaboración Propia. Imagen: Visum.

Si se hace un acercamiento de la avenida Caracas, entre la calle 72 y 76 (Figura 7.2), que es el punto de máxima carga actual y fue el utilizado para la correlación con la red. Se puede observar que se están movilizand 42.113 usuarios, lo cual es un valor consistente con lo que ocurre realmente en la ciudad, y aunque el objetivo que se busca es la comparación entre los dos esquemas específicamente en la zona de Ciudad Bolívar, este es un buen dato de lo que sería una asignación para toda la ciudad de Bogotá.

Figura 7.2. Acercamiento tramo más cargado de la Ciudad de Bogotá.



Fuente: Elaboración propia. Imagen: Visum.

Al correr el modelo con el esquema actual se asignaron en total 512.363 viajes, de los cuales 220.713 tuvieron que hacer alguna transferencia lo que da un tasa de transferencia de 0.43, la cual parece muy baja, sin embargo, si se tiene en cuenta la parametrización utilizada, el costo generalizado de viaje para la población que se está simulando y que sólo está pintada la oferta completa para la zona de Ciudad Bolívar, esta tasa cobra mucho sentido, ya que muchos de estos viajes se deben estar realizando a pie o tratando de minimizar la transferencia. Al utilizar el nuevo esquema propuesto, la cantidad de viajes asignados aumentó a 514.894, un 0.5%, lo cual es muy bueno, teniendo en cuenta que se está utilizando exactamente la misma parametrización en ambos casos, esto indica que nuevos usuarios utilizarían el sistema. Al revisar los viajes con transferencia, se aumentaron a 237.043, una tasa de 0.46, la cual sigue siendo baja a nivel general de la Ciudad.

En el siguiente punto, se revisará el impacto de estos números específicamente en la zona de Ciudad Bolívar, que es donde se cambió el esquema de operación.

7.2. Resultado asignación Ciudad Bolívar.

Para el análisis específico de la asignación en la zona de Ciudad Bolívar, es importante tener en cuenta que se utilizó una matriz de hora pico AM para un día hábil, teniendo en cuenta que es una zona principalmente residencial, como se vio en el capítulo 2 (Caracterización de la demanda), el análisis se enfocará en el movimiento de usuarios desde la zona hacia el resto de sectores de la ciudad. En el anexo digital (Resultados asignación), se muestra el detalle de los resultados obtenidos.

Primero se hará el análisis de validaciones de cada uno de los sistemas, en la tabla 7.1 están los datos comparativos entre ambos esquemas. Como se puede observar, se incluyó el sistema de alimentación, el cual no tuvo ningún cambio para la propuesta del nuevo esquema.

Tabla 7.1 Comparación validaciones de los dos esquemas.

| Sistema | Esquema Actual | | | Nuevo Esquema | | |
|-------------------|----------------|---------------|--------------|----------------|---------------|--------------|
| | Max. Ocupación | Validaciones | Rotación | Max. Ocupación | Validaciones | Rotación |
| Alimentación | 14.509 | 14.789 | 1,9% | 14.860 | 15.138 | 1,8% |
| Zonales - Urbanas | 33.340 | 45.824 | 27,2% | 28.396 | 39.091 | 27,4% |
| Colectoras | 0 | 0 | 0 | 3.959 | 3.962 | 0,1% |
| TOTAL | 47.849 | 60.613 | 21,1% | 47.215 | 58.191 | 18,9% |

Fuente: Elaboración propia.

Cómo era de esperarse en el nuevo esquema aumenta el número de usuarios que utilizarían el sistema alimentador, esto se debe a que con el nuevo esquema los usuarios para salir de la zona de Ciudad Bolívar, necesariamente tendrían que hacer una transferencia, al igual que para el sistema Troncal, así que lo más posible, es que personas a quienes les sirve ambos sistemas (Troncal y zonal), prefieran en algunos casos utilizar el sistema troncal.

Si se comparan las validaciones del sistema zonal, con el esquema actual se tienen 2.771 más, que equivalen a un 6% adicional. Esto se da principalmente porque el sistema actual tiene un mayor número de rutas (44) que el propuesto (35), y al correr los dos sistemas en igualdad de condiciones era posible que se presentara este comportamiento. Sin embargo al tener un menor número de

rutas, se puede, con la misma flota tener intervalos de paso más pequeños, lo que va a reducir el tiempo de espera de los usuarios y por ende el número de validaciones tendrá que aumentar. Se realizó un nuevo ejercicio modificando ese tiempo de espera en las rutas urbanas, pasando de 10 a 8 minutos, que sería aproximadamente lo que se podría mejorar, teniendo en cuenta el paso de 44 a 35 rutas, y como resultado hubo un aumento de 2.465 validaciones, con lo cual se podría concluir, que con el nuevo esquema se puede lograr mantener el número actual de validaciones.

El anterior es el análisis, revisando la información por ruta de los dos esquemas que se modelaron, sin embargo, es importante revisar el comportamiento de los viajes que se originan en la zona de estudio en ambos casos, en la tabla 7.2 se muestran los datos principales.

Tabla 7.2. Viajes con origen zona Ciudad Bolívar, comparación dos esquemas.

| Esquema | Viajes | Transferencias | T. Transferencia | Tiempo Viaje (h) | Promedio Tiempo Viaje (h) |
|------------------------|--------|----------------|------------------|------------------|---------------------------|
| Actual | 44.765 | 24.724 | 0,55 | 34.020 | 0,76 |
| Nueva Propuesta | 47.762 | 29.720 | 0,62 | 36.114 | 0,76 |

Fuente: Elaboración propia.

En este caso, si se puede observar el aumento en el número de viajes con el nuevo esquema en un 6.7%, lo que indica, que efectivamente la reducción que se estaba presentando al revisar los viajes por cada ruta, se da porque se presenta una reducción en el número de rutas y por ende en el número de destinos.

Por otra parte, como era de esperarse, hay un aumento en el número de transferencias, la tasa pasa de 0,55 a 0,62, esta tasa sigue siendo baja, lo cual indica que en Ciudad Bolívar se realizan muchos viajes cortos, en los que los usuarios utilizan como principal medio de transporte el sistema alimentador que no tiene ningún costo cuando se llega hasta el portal. A pesar de que aumentan las transferencias, es interesante que el tiempo promedio de viaje logra mantenerse en 0.76 horas (45.4 minutos), tiempo que también es corto, debido a los viajes cortos que se realizan en la zona y a que la velocidad que se utilizó en el modelo fue la programada, la cual generalmente es un poco mayor que la velocidad real, ya que no contempla los trancones ocasionales que se presentan en la vía.

Esto indica que hay una afectación en la percepción que tiene el usuario del tiempo de viaje, por el aumento en las transferencias, sin embargo el tiempo real, en promedio va a ser el mismo.

En el anexo E (Resultados asignación), se encuentra el detalle de viajes para cada una de las rutas, con lo cual se podrían sacar algunos indicadores por ruta. Sin embargo de la revisión que se realizó, se encontró, que para hacer un análisis detallado por ruta, las zonas ZAT siguen siendo pequeñas, hay rutas como la 10-12 y la 10-11, que son tan cortas, que prácticamente operan dentro de una misma zona, por lo que no tienen viajes asignados, esto fue una complicación también en las rutas colectoras que también son bastante cortas, por esa razón, se presenta el análisis general de ambos esquemas. Teniendo en cuenta, que el sistema alimentador no tuvo ningún cambio, se puede realizar la comparación por ruta de los resultados, el cual se presenta en la tabla 7.3.

Tabla 7.3. Resultado Asignación rutas alimentadoras.

| NAME | Longitud (Km) | Volumen Máx. Esquema Actual | Volumen Máx. Nuevo Esquema | Diferencia Vol. | Total Validaciones E. Actual | Total Validaciones E. Nuevo | Diferencia Validaciones |
|-------------------------------|---------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| 6-1 Candelaria - Tunal | 5,19 | 1554 | 1688 | 134 | 1743 | 1877 | 134 |
| 6-12: Villa Gloria - Tunal | 6,34 | 1111 | 1177 | 66 | 1179 | 1246 | 67 |
| 6-2: San Francisco - Tunal | 3,78 | 1937 | 1907 | -30 | 1945 | 1915 | -30 |
| 6-3: Sierra Morena - Tunal | 10,81 | 388 | 408 | 20 | 612 | 633 | 21 |
| 6-4: Paraiso - Lucero - Tunal | 11,97 | 1566 | 2062 | 496 | 1714 | 2180 | 466 |
| 6-5: Arabia - Tesoro - Tunal | 12,37 | 1044 | 1329 | 285 | 1128 | 1450 | 322 |
| 6-6: J. J. Rondon - Tunal | 6,84 | 1470 | 1120 | -350 | 1666 | 1316 | -350 |
| 6-7: San Joaquin - Tunal | 9,16 | 1785 | 1261 | -524 | 2180 | 1911 | -269 |
| 6-8: Vista Hermosa - Tunal | 6,29 | 2255 | 2354 | 99 | 2385 | 2460 | 75 |
| 6-9: Arborizadora - Tunal | 11,59 | 723 | 885 | 162 | 724 | 886 | 162 |
| 7-2: Tunal - Cl. 40 S | 4,70 | 482 | 475 | -7 | 964 | 957 | -7 |
| 7-3 Ingles - Cl. 40 S | 4,84 | 1386 | 1386 | 0 | 2026 | 2020 | -6 |

Fuente: Elaboración propia.

Como se mencionó anteriormente con el nuevo esquema aumenta el número de validaciones en el sistema de alimentación, sin embargo es interesante que no en todas las rutas se presenta ese aumento, lo que quiere decir que al tener unas rutas colectoras que conectan en un punto, y que en ese punto se presten varios destinos, también es atractivo para el usuario y puede llegar a utilizarlo como una nueva opción, en lugar de tomar el servicio Troncal.

Por último se realizó el cálculo del IPK pago en hora pico para ambos esquemas. Para poder realizar el ejercicio se utilizó la misma capacidad promedio de autobús en los dos modelos, esa capacidad se calculó de la flota con la que opera actualmente⁵ la empresa que opera en la zona de Ciudad Bolívar, el resultado del ejercicio fue 56 usuarios por bus. Con ese dato y los datos del volumen

⁵ Datos suministrados por la empresa SUMA S.A.S. flota operativa a Diciembre de 2016

máximo, el kilometraje y el tiempo de recorrido por viaje se calculó el IPK para cada una de las rutas, ejercicio que se puede consultar en el Anexo E (Resultados ejercicio de asignación). De esta forma se puede encontrar el km total a recorrer en cada esquema y con las validaciones totales en ambos sentidos de la ruta se realizó el cálculo teórico del IPK ($\text{Total de usuarios pagos} / \text{Total de kilómetros}$). Para el esquema actual el resultado fue de 1.72 y para el esquema propuesto de 2.10, esto muestra que el nuevo diseño es más eficiente en términos de IPK que el que opera actualmente.

7.3. Propuesta de implementación.

Teniendo en cuenta los resultados encontrados, en principio no habría una afectación económica a la empresa operadora encargada de la zona, y el servicio al usuario, en términos de tiempos de viaje tampoco se vería perjudicado, razón por la cual el nuevo esquema es viable. Sin embargo, los datos no son contundentes, razón por la cual no es recomendable implementar este esquema completo en la zona, sino que se podrían implementar las rutas de un punto de integración, el más adecuado sería el de Candelaria, ya que su funcionamiento es independiente de los otros dos, con ello se podrían tomar datos reales del funcionamiento, y al ser satisfactorios, se podría continuar con la implementación de los otros dos puntos de integración.

Para que el esquema propuesto funcione de una mejor manera, sería conveniente tener carriles preferenciales para el sistema zonal en las principales vías por donde transitan las rutas Urbanas (Carrera 30, avenida Boyacá, avenida 68, Av. Ciudad de Cali), esto daría mayor tranquilidad para poder realizar la implementación del sistema, ya que garantizaría una mejora en la velocidad de las rutas.

Al momento de la implementación es importante retirar las rutas equivalentes que estén operando en la zona, tanto del SITP, como del SITP Provisional, esto es fundamental para que el esquema funcione correctamente, también es necesario tener una flota lo más confiable posible, pues un retraso en una ruta colectora, podría llegar a formar un caos en el servicio, y teniendo en cuenta que con el nuevo esquema en los puntos de integración aumentará el volumen de usuarios, pueden llegar a presentarse bloqueos.

Por último, es prudente tener en funcionamiento una zona de integración por un periodo no inferior a tres meses, y así poder evaluar los resultados y corregir las posibles fallas que se presenten, antes de hacer la implementación en las siguientes zonas de integración. De funcionar el esquema propuesto, se podría realizar el análisis para otras zonas de la ciudad, e ir realizando la implementación gradual.

7.4. Resultados Consolidados

A continuación se muestra un cuadro resumen con los principales resultados encontrados en el presente trabajo, realizando la comparación entre el esquema actual y el esquema propuesto.

Tabla 7.4. Resultados Consolidados.

| | Esquema Actual | Esquema Propuesto | Diferencia (Act. - Prop.) |
|---|-----------------------|--------------------------|----------------------------------|
| Número de Rutas | 44 | 35 | 9 |
| Cabeceras Inicios de ruta Zona Sur | 32 | 3 | 29 |
| Tasa de Tranferencia | 0,55 | 0,62 | -0,070 |
| Validaciones | 45.824 | 43.053 | 2.771 |
| Promedio Tiempo de viaje (h) | 0,76 | 0,76 | 0 |
| Tarifa | 2.000 | 2.000 | 0 |
| Intervalo promedio de paso (min) | 10 | 9,25 | 0,75 |
| Ocupación Máxima | 33.340 | 32.355 | 985 |
| IPK | 1,72 | 2,1 | -0,38 |

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

- El diseño del nuevo esquema operacional, tiene una ventaja operativa con respecto al esquema que opera actualmente en la ciudad, gracias a que varias rutas se concentran en un mismo punto. Para este caso en particular, los inicios de las rutas en la zona de Ciudad Bolívar se concentran en tres puntos, los que habría que controlar en lugar de los 32 que se deben controlar actualmente en la zona de Ciudad Bolívar, lo que permite con un 90,6% menos de personal realizar el control en vía de los despachos de las rutas, que aunque se cuenta con un centro de control, el control en la vía es un soporte importante para garantizar el nivel de servicio de las rutas. Adicionalmente se puede hacer un mejor uso de la flota, ya que se puede optimizar su uso, al tener varias rutas en un sólo punto de integración se pueden realizar servicios interlineados (Buses realizando dos rutas diferentes en un mismo día), sin necesidad de que el bus realice desplazamientos sin usuarios, los cuáles son ineficientes ya que se consumen recursos como combustible y tiempo del conductor sin transportar usuarios
- Al unificar varias rutas en un mismo punto, como sucedería en los paraderos de integración, se debe garantizar la infraestructura adecuada en dicho punto, para una correcta movilidad de los usuarios, y así evitar mayores demoras, adicionalmente se debe crear un plan de manejo peatonal. dentro del cual debe considerarse la organización de filas ordenadas para los pasajeros y la presencia de personal logístico que oriente y organice a los usuarios, para evitar congestiones similares a las que se presentan en portales y estaciones del sistema troncal, esto es un costo adicional que debe tenerse en cuenta en caso de implementar el esquema propuesto en el presente trabajo.
- Con el nuevo esquema aumenta la tasa de transferencias en los viajes que se originan en la zona de Ciudad Bolívar en un 20,2%, lo cual no es lo más conveniente para el usuario. Para contrarrestar el efecto, es necesario mejorar los intervalos de paso de las rutas, con el nuevo esquema se presenta una mejora del intervalo programado en un 9,3%.

Adicionalmente se debe mejorar la regularidad y puntualidad del servicio. De acuerdo a los resultados de la prueba, los intervalos reales mejoran en un 6,5%, y en teoría al poder tener un mejor control, deben mejorar también los indicadores de regularidad y puntualidad, sin embargo en la realidad, dependerá de la empresa operadora encargada de la zona que se logró mejorar en esos indicadores.

- El sistema de rutas colectoras puede beneficiar a otras empresas operadoras del sistema, particularmente a la empresa que opera la zona de Usme como se mostró en los resultados del modelo al disminuir las validaciones en un 6.0%, para este tipo de rutas. Esto se presenta porque que hay rutas que inician en otros sectores de la ciudad como Usme y también utilizan la avenida Boyacá, pasando por los puntos de integración propuestos por dicha avenida, en cuyo caso, los usuarios tendrían la opción de tomar también esas rutas. Esto es un beneficio adicional para la usuario ya que se aumenta la oferta de rutas en los puntos de integración, sin embargo habría que realizar la revisión completa de las rutas que inician en otras zonas de la ciudad y pasan por las zonas de integración, para evitar que aquellas que tienen los mismos destinos de las rutas urbanas propuestas con el nuevo esquema tengan parada programada en los puntos de integración, y de esa manera evitar el paralelismo y la competencia en el servicio.
- También se debe tener en cuenta, que el nuevo esquema funcionará de manera similar al sistema troncal, ya que el usuario tendrá que realizar por lo menos una transferencia para poder movilizarse a una zona distinta de Ciudad Bolívar, lo que implica que haya usuarios que prefieran hacer uso de ese sistema, o simplemente tomar el servicio que les pase primero. De acuerdo a la simulación en Visum se aumentan en un 3,2% las validaciones del sistema alimentador en la zona de Ciudad Bolívar. Teniendo en cuenta que una misma empresa operadora programa los dos sistemas, esta situación no debería ser un impedimento para realizar la implementación del nuevo esquema, simplemente desde la programación se pueden realizar los ajustes que sean necesarios, para garantizar un buen servicio y el IPK de ambos sistemas.
- Económicamente el nuevo esquema no implicaría un costo adicional para el distrito, ni tampoco se verían afectados los ingresos de la empresa operadora encargada de la zona,

pues el número total de validaciones se mantiene, y se mejora el IPK de hora pico pago pasando de 1.72 a 2.10, adicionalmente al mejorar el control, se logran optimizaciones que se deben ver reflejadas en la reducción de costos, lo que quiere decir que la utilidad de la empresa operadora aumentaría, ayudando a la mejora del sistema. En cuanto a los costos del distrito, en el presente trabajo el que interesa es el pago que se hace a la empresa operadora, el cual tiene tres componentes: Bus, pasajeros y kilometraje comercial. (Transmilenio S.A. 2010). Al mejorar el IPK, el componente "Bus" no tendría afectación, sin embargo la relación de kilómetros y pasajeros que se pague a la empresa operadora será más eficiente, teniendo en cuenta que el ingreso bruto del sistema se da por la validación de pasajeros, y un IPK más alto quiere decir una de dos cosas: o se aumentó el número de usuarios con el mismo kilometraje, o se disminuyeron los kilómetros con el mismo número de usuarios.

- Es posible replicar el esquema en otras zonas de la ciudad, sobre todo en zonas que sean muy extensas como Ciudad Bolívar, ya que son zonas que tienen muchas cabeceras o inicios de ruta para controlar, lo que hace que operativamente sean ineficientes, un esquema como el propuesto ayuda sobre todo a mejorar dicho control y a unificar la operación en unas pocas zonas de integración.

Recomendaciones

Una vez desarrollado el presente trabajo final de maestría se establecen las siguientes sugerencias y aportes:

- Con este trabajo ya se tiene una red inicial de Bogotá, con la oferta detallada para la zona de Ciudad Bolívar, se recomienda para posibles estudios de otras zonas completar la oferta de toda la ciudad, para conseguir ejercicios de asignación cada vez más cercanos a la realidad.
- Las zonas ZAT de Bogotá, aunque son de gran utilidad para realizar un procedimiento de asignación, no son lo suficientemente pequeñas para dar la resolución necesaria para analizar en detalle todas las rutas de un sistema de transporte, por esa razón se recomienda siempre acompañar estos análisis con trabajo de campo para corroborar la información y lograr mayor certeza en los cambios que se vayan a realizar, en este sentido es conveniente implementar ejercicios de frecuencia de ocupación visual y de Ascenso – Descenso.
- Un modelo de asignación para toda la ciudad de Bogotá es bastante complejo, por la alta cantidad de variables que maneja, con este trabajo se logró hacer el análisis de una zona en particular, para el estudio de otras zonas, se recomienda hacerlo de manera similar, esto ayuda a que se puedan obtener datos concretos y no se necesite tanto tiempo para obtener un buen ejercicio de asignación.
- Visum permite crear áreas de parada, en las que se pueden asignar varios paraderos y crear una red de distancias entre dichos paraderos, esto ayudaría a simular de una manera más precisa las zonas de integración y los portales y estaciones del sistema troncal, por lo cual se recomienda para próximos trabajos realizar este ajuste a la red y comparar los resultados con los obtenidos en este trabajo, en donde se tradujeron los tiempos de caminata en tarifa, ejercicio que también es válido para una macro modelación.

Referencias Bibliográficas

Antonio Mauttone, Héctor Cancela, Maria Urquhart. (2014). Diseño y optimización de rutas y frecuencias en el transporte colectivo urbano, modelos y algoritmos. Universidad de la república. Recuperado de <https://www.fing.edu.uy/inco/pedeciba/bibliote/reptec/TR0307.pdf>.

Cámara de comercio de Bogotá y Universidad de los Andes. (2015). Reporte Anual de movilidad. [Gráfico]. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11520/18119>.

DANE – SDP. (2015). Proyecciones de población según localidad. Censo 2015. [Tabla]. Recuperado de <http://www.sdp.gov.co>.

Gruttner, Pinninghoff, Tudela y Díaz (2002). Recorridos óptimos de líneas de transporte público usando algoritmos genéticos. Chile: Jornadas chilenas de computación.

H. Porras y S Cote. (2016). Estimación de los factores de la penalización del tiempo en la función del costo generalizado en Bucaramanga y su área Metropolitana. Revistas UIS Ingeniería, volumen (15), 135 – 144. [Tabla]. Recuperado de <http://revistas.uis.edu.co>

Michael Patriksson y Martine Labbé. (2002). Transportation Planning. United States of America: Kluwer Academic Publishers.

Ortuzar, Willumzen. (2011). Modelling Transport, Fourth Edition. Recuperado de <http://onlinelibrary.wiley.com/book/10.1002/9781119993308>.

PTV Planing Tranport. (2016). Manual de usuario Visum versión 16.01-08. Recuperado de http://cgi.ptvgroup.com/cgi-bin/en/traffic/visum_download.

Secretaría distrital de planeación. (2009). Diagnóstico de los aspectos físicos, demográficos socioeconómicos [Gráfico]. Recuperado de <http://www.sdp.gov.co>.

Secretaria distrital de planeación. (2011). Diagnóstico de los aspectos físicos demográficos y socioeconómicos localidad Ciudad Bolívar. Recuperado de <http://www.sdp.gov.co>.

Steer Davis Glave, Centro Nacional de Consultoría. (2011). Informe final de consultoría. Encuesta para movilidad Bogotá. Recuperado de <http://www.sdp.gov.co>.

Transmilenio S.A. (2009). Diseño operacional del SITP.

Transmilenio S.A. (2010). Contrato de concesión del SITP.

Bibliografía

Acero Mora, Jesús David. (2011). Los sistemas de bicicleta pública, una opción de movilidad sostenible desde el esquema servicio - producto. Estudio de caso: el Programa de bicicletas BicirrUN de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. / Public bicycle systems, a choice of sustainable mobility scheme product - service. Case Study: Bicycle Program BicirrUN National University of Colombia in Bogotá. Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.

Daniel Oviedo H. Juan Pablo Bocarejo. (2011). Desarrollo de una metodología de estimación de accesibilidad como herramienta de evaluación de políticas de transporte en países en desarrollo: estudio de caso de la ciudad de Bogotá. Revista de ingeniería. Volumen 35. 27-33. Recuperado de www.scielo.org.co/pdf/ring/n35/n35a05.pdf.

Duarte Sergio, Becerra David , Niño Luis Fernando. (2008). Un modelo de asignación de recursos a rutas en el sistema de transporte masivo Transmilenio. Avances en Sistemas e Informática. Volumen 5. Recuperado de <http://revistas.unal.edu.co/index.php/avances/article/view/9984>.

John Jairo Posada Henao, Carlos Alberto González Calderón. (2010). Metodología para estudio de demanda de pasajeros en zonas rurales. Revista Ingeniería Universidad de Antioquía. Número 53. 106-118. Recuperado de www.scielo.org.co/pdf/rfiua/n53/n53a09.pdf.

Martínez Ortega, Diana Carolina. (2012). Estrategias para promover la accesibilidad, cobertura y calidad en el sistema de transporte público urbano para la población con discapacidad física: Caso Bogotá / Strategy to promote accessibility, coverage and quality of urban public transport system for people with physical disability: Case of Bogotá. Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.

Secretaría de planeación. (2011). Población, vivienda y hogares a junio 30 de 2011, en relación con la estratificación socioeconómica vigente en el 2011. Boletín No. 31. Ciudad de estadísticas.

A.Anexo: Construcción Matriz OD Transporte público 2016.

Se entrega anexo digital en formato Excel, con los ejercicios realizados para la construcción de la Matriz Origen Destino para la generación del procedimiento de asignación. El cual consta de las siguientes hojas:

Datos Hora Pico: Información de viajes realizados en la hora pico de 6 a 7 de la mañana, información obtenida directamente de la encuesta realizada en Bogotá en 2011.

Matriz HP UPZ: Construcción de la matriz de hora pico utilizando la zonificación por UPZ.

Frtar: Ejercicio de Distribución por UPZ, una vez se tiene realizada la proyección de la matriz a 2016, utilizando los datos del anexo B.

Matriz HP Paso a ZAT: Paso de la matriz 2016 de Zonas UPZ a ZAT, y ajuste de valores de la proyección.

Matriz OD 2016 Zats: Matriz OD 2016 construida con base en la de 2011, en zonas ZAT.

Matriz validaciones SITP TM: Matriz entregada por Transmilenio al operador SUMA S.A.S. construida con los datos de las validaciones realizadas en el SITP y Transmilenio en el mes de Febrero del año 2015.

Matriz Ajustada con Validaciones: Cruce y ajuste entre las dos matrices, la entregada por Transmilenio y la construida con los datos de la encuesta realizada en el año 2011.

Matriz para Carga: Matriz definitiva en formato para cargar al software Visum.

B.Anexo: Modelación Esquema Actual.

Se entrega anexo digital en formato .ver, con el ejercicio de asignación realizado en Visum (Sólo se puede abrir con Visum), teniendo en cuenta la operación actual del transporte público en la zona de Ciudad Bolívar.

C.Anexo: Modelación Esquema Propuesto.

Se entrega anexo digital en formato .ver, con el ejercicio de asignación realizado en Visum (Sólo se puede abrir con Visum), teniendo en cuenta la operación del esquema propuesto para la zona de Ciudad Bolívar en el actual documento.

D.Anexo: Resultados ejercicios de Asignación.

Se entrega anexo digital en formato Excel, con el detalle del resultado de los dos ejercicios de asignación realizados, con las siguientes hojas:

Detalle Solución EA: Se muestra el detalle de todos los viajes asignados a cada una de las rutas, incluyendo tiempos de recorrido, Tarifa, Kilometraje y tiempos de espera de la solución al modelo que utiliza el esquema operacional actual de la zona de Ciudad Bolívar.

Rutas Esquema Actual: Se muestra el detalle totalizado por ruta, incluyendo el nombre, la longitud, el tiempo de recorrido, las validaciones y el volumen máximo de la solución al modelo que utiliza el esquema operacional actual de la zona de Ciudad Bolívar.

Viajes Origen CB EA: Se muestran filtrados los viajes que se originan en la zona de Ciudad Bolívar en la modelación que utiliza el esquema actual en la zona.

Detalle Solución EP: Se muestra el detalle de todos los viajes asignados a cada una de las rutas, incluyendo tiempos de recorrido, Tarifa, Kilometraje y tiempos de espera de la solución al modelo que utiliza el esquema propuesto para la zona de Ciudad Bolívar.

Rutas EP: Se muestra el detalle totalizado por ruta, incluyendo el nombre, la longitud, el tiempo de recorrido, las validaciones y el volumen máximo de la solución al modelo que utiliza el esquema operacional propuesto para la zona de Ciudad Bolívar.

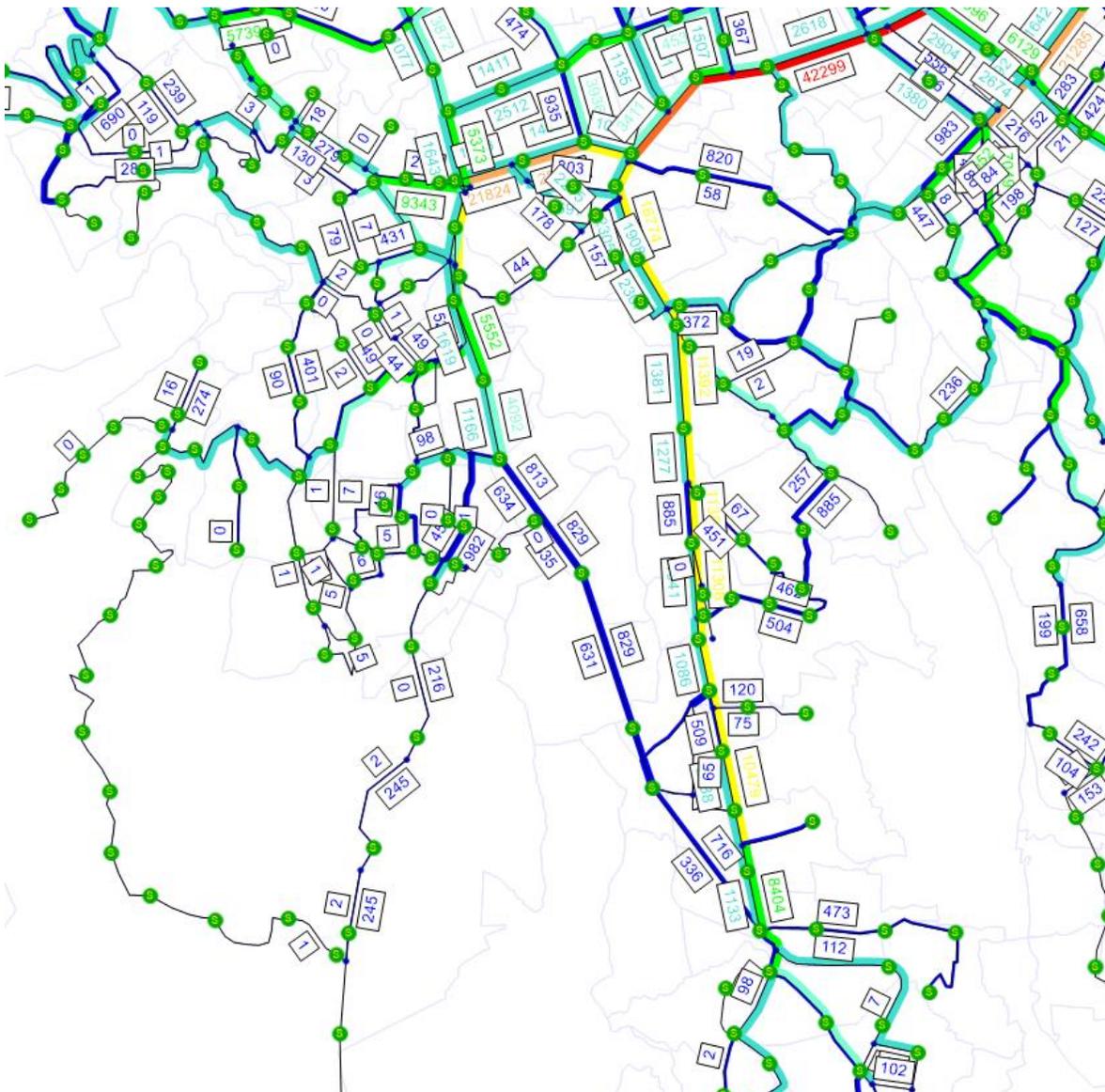
Viajes Origen CB EP: Se muestran filtrados los viajes que se originan en la zona de Ciudad Bolívar en la modelación que utiliza el esquema propuesto en la zona.

Comparación: Se muestran los resultados globales, comparando las soluciones al modelo de asignación con cada uno de los esquemas.

IPK EA: Se muestra el cálculo del IPK por ruta obtenido del resultado de la asignación que utiliza el esquema operacional actual de la zona de Ciudad Bolívar.

IPK EP: Se muestra el cálculo del IPK por ruta obtenido del resultado de la asignación que utiliza el esquema operacional propuesto de la zona de Ciudad Bolívar.

F.Anexo: Figura resultado asignación esquema propuesto.



En esta figura se muestra el resultado del ejercicio de asignación con los volúmenes del ejercicio utilizando el esquema propuesto, se realiza el acercamiento a la zona de estudio Ciudad Bolívar, para poder apreciar los volúmenes.